

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

531 Rec'd FCIM

14 JAN 2002  
5/9/02  
Molteni

EXPRESS MAIL NO. EL652176477US

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Eiki MATSUO ) Re: Claim to Priority  
U.S. Appln. No.: not yet )  
assigned ) Group: not yet assigned  
U.S. Filing Date: concurrently ) Examiner: not yet assigned  
herewith )  
International Application No: )  
PCT/JP00/04641 )  
International Filing Date: )  
July 12, 2000 ) Our Ref.: B-4460PCT 619454-8  
For: "IMAGING OPTICAL SYSTEM" ) Date: January 14, 2002

35 U.S.C. 119 CLAIM TO PRIORITY

Commissioner of Patents and Trademarks  
Box PCT  
Washington, D.C. 20231

Attn: United States Designated/Elected Office (DO/EO/US)

Sir:

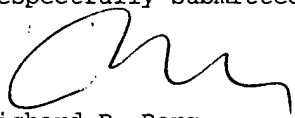
Prior PCT International Application No. PCT/JP00/04641,  
designating the U.S., claims foreign priority as follows:

<u>COUNTRY</u>	<u>FILING DATE</u>	<u>SERIAL NUMBER</u>
Japan	14 July 1999	1999-200381

The certified copy has been filed in prior PCT International  
Patent Application No. PCT/JP00/04641.

Applicant hereby confirms that this claim for priority applies to  
the above-identified U.S. International Stage Application.

Respectfully submitted,

  
Richard P. Berg  
Reg. No. 28,145  
Attorney for Applicant  
LADAS & PARRY  
5670 Wilshire Boulevard #2100  
Los Angeles, California 90036  
(323) 934-2300

**THIS PAGE BLANK (CONT)**

10/031026

PCT/JPGO/04641

## 日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

02.08.00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 7月14日

REC'D 21 SEP 2000

WIPO

PCT

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第200381号

出 願 人

Applicant (s):

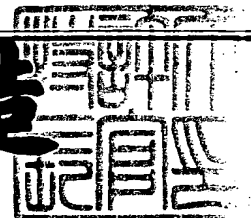
松尾 栄樹

PRIORITY  
DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2000年 9月 8日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3070959

【書類名】 特許願  
【整理番号】 9907-001  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G02B 27/00  
【発明者】  
【住所又は居所】 長野県諏訪市大字上諏訪 6 6 6 6 - 2 3 5

---

【氏名】 松尾 栄樹  
【特許出願人】  
【識別番号】 399014587  
【氏名又は名称】 松尾 栄樹  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 075433  
【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【ブルーフの要否】 要

---

【書類名】 明細書

【発明の名称】 結像光学系

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一方の共役面 A 上の任意の点で角度幅  $10^\circ$  以上の発散角度を有する光束が、複数の光学素子より構成され少なくともその基準軸近傍において光束の収束作用を有する第 1 の光学系と、少なくともその基準軸近傍に於いて光束の発散作用を有する第 2 の光学系とを順次通過し、もう一方の共役面 B 上に収束する結像光学系に於いて、前記第 1 の光学系を通過する任意の光束に関し、その主光線を含むいずれかの断面内における収束角が、前記共役面 A 上での光束位置が前記第 1 の光学系の基準軸から遠ざかるに従って相対的に減少すると共に、前記第 1 の光学系と前記第 2 の光学系間の任意の光束に沿う距離を  $d_1$ 、前記第 2 の光学系と前記共役面 B 間の同じ光束に沿う距離を  $d_2$  とする時、 $d_2 > d_1$  を満足することを特徴とする結像光学系。

【請求項 2】

前記第 1 の光学系を通過する少なくとも一部の光束に関し、その主光線を含み請求項 1 の光束断面とは異なる光束断面内において、前記第 1 の光学系と前記共役面 B との間に収束点を有する事を特徴とする請求項 1 記載の結像光学系。

【請求項 3】

前記第 1 の光学系を通過する少なくとも一部の光束の主光線射出角が、前記第 1 の光学系の基準軸から前記共役面 A 上の光束位置までの距離  $h$  と、前記第 1 の光学系の基準軸近傍での焦点距離  $f$  とを用い、 $h = f \cdot \tan \phi$  より算出される射出角度  $\phi$  より大きくなる事を特徴とする請求項 1 記載の結像光学系。

【請求項 4】

前記結像光学系が、前記共役面 A の拡大像を前記共役面 B 上に形成する結像作用を有する、もしくは前記共役面 B の縮小像を前記共役面 A 上に形成する結像作用を有する事を特徴とする請求項 1、2、または 3 記載の結像光学系。

【請求項 5】

前記共役面 A の結像に関わる領域が、前記第 1 の光学系の基準軸と交わらない

領域であると共に、前記共役面 B の結像に関わる領域が、前記第 2 の光学系の基準軸と交わらない領域であることを特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【請求項 6】

前記共役面 A と前記共役面 B とのなす角が、 $10^{\circ}$  以下であることを特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【請求項 7】

前記第 1 の光学系及び第 2 の光学系とが、それぞれ少なくとも 1 面の非球面あるいは自由曲面を有する光学素子を含むことを特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【請求項 8】

前記第 1 の光学系が複数の主として屈折光学素子より構成されると共に、前記第 2 の光学系が主として反射光学素子より構成されることを特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【請求項 9】

前記第 2 の光学系が単独の反射光学素子により構成されることを特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【請求項 10】

前記共役面 A、前記第 1 の光学系、前記第 2 の光学系、あるいは前記共役面 B の少なくとも 1 つが、前記第 1 の光学系の基準軸、または前記第 2 の光学系の基準軸に関して偏心している、或いは偏心光学素子含む事を特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【請求項 11】

前記第 1 の光学系、あるいは前記第 2 の光学系の少なくとも一方が、回転対称光学素子から構成されることを特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【請求項 12】

前記第 1 の光学系、及び前記第 2 の光学系が全て共通の回転対称軸を有する回転対称光学素子より構成されると共に、前記光学系の各基準軸が前記共通の回転対称軸と一致していることを特徴とする請求項 4 記載の結像光学系。

【発明の詳細な説明】



【0 0 0 1】

【発明が属する技術分野】

本発明は、斜め方向からの画像の読み取り装置、画像の投写装置、カメラ等に適用可能な結像光学系に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

斜めからの画像投写、或いは画像取り込みに関する結像光学系を実現する手段（以下これらを一緒に考えて、単に斜入射光学系と呼ぶことにする）は、次の2つの方式に大別される。即ち、

（1）ディセンタ方式

（2）ティルト方式

である。

【0 0 0 3】

図20にディセンタ方式の基本原理を示す。この方式では、互いに共役関係にある物体面4と像面2とが基本的に平行であり、結像光学系30の光軸3Aは、両平面に直交している。斜入射光学系を実現するためには、像平面2に置かれた例えば画像検出領域201を光軸3Aから下方向に移動させておく。この操作により、物体平面4上の対応する撮影領域401は図の上方向に変位し、結果として、特別な光学系を用いることなく斜入射光学系が実現できる。この方式の利点は余分な歪曲が発生しないことである。欠点は光軸3Aから変位させるため、結像光学系30のイメージサークルをあらかじめ十分大きく取らなければならず、収差補正が難しくなる事、及び、結像光学系30が大型化する傾向を有する事である。

【0 0 0 4】

もう一つの方式であるティルト方式の基本原理を図21に示す。ディセンタ方式と大きく異なる点は物体平面4に対して、結像光学系30の光軸3Aが斜交していることである。それと同時に像平面2も光軸3Aと斜交している。更に、像平面2、物体平面4及び結像光学系30の主平面3Hはそれぞれの延長線上の交線Aにおいて交わっており、ティルト方式の結像条件であるいわゆるScheinmpfl

ugの原理を満足している。この方式の長所は、結像光学系30があまり大きくならず、解像力も比較的良好なことである。欠点は大きな歪曲が新たに発生することである。この時発生する歪曲の典型的な例を図22に示す。これは図21の結像に関する倍率の関係を考察すれば容易に理解できる。

#### 【0005】

斜入射光学系は、上記2つのいずれかの方式、或いはその複合タイプに分類される。結像光学系としては、大きさ、解像力、歪曲等の光学系に要求される所定の仕様を満足しなければならない。従来技術においても、上記いずれかの方式を踏襲しながら、それらが抱える問題を解決するために様々な工夫を行い、目的にあった光学系を提供しようと努力してきた。次にその幾つかの具体例を見てみよう。

#### 【0006】

図23は、特開平05-273460号のプロジェクタの投写レンズに関する断面図である。屈折光学素子より構成される投写レンズ30と画像形成素子2とをその光軸3Aと垂直方向に相対的に移動させることにより、斜入射光学系を実現する。その際、画像形成素子2の近傍にあるコンデンサレンズ301まで含めて移動することを避けるため、投写レンズ30を移動させると同時に、投写レンズの光軸を傾ける。これは基本的にディセンタ方式に分類され、補正の自由度として、偏心を用いていると考えられる。なお、この具体例では最大画角 $2\omega$ が約 $51^\circ$ の投写を実現している。

#### 【0007】

図24は、米国特許第5871266号の断面図で、本出願人によりプロジェクタ装置として考案されたものである。光源を含む照明部1、液晶等の画像素子を含む画像形成部2、結像部3をその基本構成として、照明部1と結像部3の総合的な最適化を図ることで、斜入射光学系を実現しようとするものである。その具体的構成例において、特に結像部3を少数の反射鏡のみにより構成した実施例も開示されている。照明部1からの光束は、ダイクロイックミラー2a、2bで3原色に分解され、3枚の反射型画像形成素子2g、2h、2iを照明する。各画像形成素子で反射された光束は、ダイクロイックミラー2a、2bで再び合成

され、結像部 3 に向かう。結像部 3 は 3 枚の反射鏡、3 a, 3 b, 3 d で構成されており、画像形成素子 2 g, 2 h, 2 i からの光束を順次反射する事により図示していないスクリーン 4 上に結像する。この特許では、投写装置における斜入射光学系の意義が詳細に論じられている。また、薄型背面投写装置への応用例として、最大画角が 100 度を越えるものも開示されている。この方式も基本的には、ディセンタ方式に分類されるものである。

---

【0008】

このような画期的な投写装置が実現可能であるにも関わらず、米国特許第 587 1266 号の方式は、幾つかの欠点を有している。その 1 つが、結像系に反射鏡を使用する場合、屈折光学素子に比較し高い面精度が要求される事である。これは、結像に寄与する光束が、反射鏡で反射される様子を思い浮かべれば容易に理解できる。例えば、画像素子から射出し、スクリーン上の一点に結像する任意の光束が反射面上で形成する一定のスポット領域を考える。この領域内で例えば  $\lambda/4$  の形状誤差があったとすると ( $\lambda$  は例えば  $0.55 \mu\text{m}$ )、反射することにより、約  $\lambda/2$  の波面収差が発生する。これは結像系に大きな解像力の低下をもたらす。言い換えれば、反射光学系の場合、反射面自体のうねり誤差に非常に弱いと言える。

もう一つの欠点が画像素子からの取り込み角度である。簡単な構成で斜入射光学系を実現するため、その請求項にも記載されている様に、発散角が 8 度以下の光束だけを利用する。この特許の場合には、照明系を含めて全体の最適化を行うことにより、光束の利用効率を高めているが、入手できる光源の大きさ、装置の大きさ、コスト要求等、種々の制約条件を考えた場合、その適用範囲を狭める結果となっている。

【0009】

特開平 10-206791 号も、プロジェクタの投写系に関するもので、これまでの例と同様ディセンタ方式に分類されるものである。この発明では、設計の自由度を上げるため、図 25 の結像系 30 に、偏心光学素子や自由曲面を採用しており、最大画角  $2\omega = 68$  度を越える投写系を実現している。そして、図 26 の様な斜め投写を行う結像系として利用する。この場合、2 つの共役面 2, 4 は

ほぼ平行となっている。この様な偏心光学素子の採用にもかかわらず、投写画角そのものはさして増加しておらず、その一方で部品製造や組立上の困難さが増大する。

以上、主としてディセンタ方式に分類される幾つかの公知例に関し説明を行った。次に、主としてティルト方式に基づく公知例を見てみよう。

#### 【0010】

図27の米国特許第5274406号も投写装置、特に背面投写型表示装置への応用に関するものである。この例は、図28に示す屈折光学素子より構成される対称型の投写レンズ30と、図29(b)に示される像面の近傍に設けられたフレネル状の微細な階段構造を有する自由曲面ミラー301とから構成されている。この例では、背面投写装置の奥行きを薄くするため、投写レンズ30の光軸をスクリーン4及び画像形成素子2に関し、斜めに傾けるティルト方式を採用している。また、光軸を傾けることにより発生する歪曲に関しては、図29(a)に示す自由曲面ミラーを使用して補正すると同時に、この様なミラーの使用により新たに発生する結像条件の不整合の問題に関しては、ミラーをフレネル化することで対応している。

#### 【0011】

この様な工夫により、対角36 inchの背面投写型表示装置を厚さ28 cmで実現している。背面投写装置では、表示部の対角長を"inch"で表し、それを"cm"で読み替えた数値が1つの挑戦的な目標数値であるが、この例では、それを越える薄型化を実現している。以上の方法により、確かに装置の薄型化が可能となっているが、投写レンズ30からフレネルミラー301までの任意の光束に沿う距離を $d_1$ 、フレネルミラーからスクリーンまでの同じ光束に沿う距離を $d_2$ とする時、 $d_1 > d_2$ となるように構成されており、フレネルミラーが必然的に大型化する。結果として、自由曲面、且つフレネルミラーの製造は非常に難しい課題になってしまう。また、解像力低下を防ぐために導入したフレネル構造は、有限の段差構造を持つため、その段差自体が解像力を悪化させる要因になってしまう。

#### 【0012】

図30の特開平6-265814、及び特開平7-151994は同じくティルト方式に属する他の例である。これらの例では、ティルト方式を多段で用いることにより歪曲を補正しようとするものである。例えば、図31に2段で構成する場合の模式図を示す。2に置かれた画像素子からの光束は第1の結像系3により、4に中間像を形成する。その中間像を、第2の結像系3'でスクリーン4'上に再結像させる。この様な構成に関し、各光学系の設置角度、倍率、焦点距離等に一定の条件を課することで、原理的に歪曲をなくすることが可能となると同時に、解像力も確保できる。この方式の場合、共通の中間像4に対して各結像系3及び3'の光軸が所定の角度を持って交わるため、実際の光束がけられなく3から3'へと伝達される必要がある。通常、中間像が形成される位置に、図32の様な偏心フレネルレンズ等の瞳結合素子を置くことで、それを実現しているが、例えば画像素子が液晶パネルなどのように最小画素構造を有する場合、フレネルの周期構造と干渉しモアレを生じる。この公知例では、その様な瞳結合素子を中間像からずらして置くことでこの問題を回避しようとしている。

#### 【0013】

この方式の欠点としては、各光学系3、3'の光軸と中間像4 或いは画像素子2の傾きが大きく、機械的要求を満足するのが困難である場合が多い。その詳細はここでは触れないが、図32の瞳結合素子も最後まで問題となる課題の1つである。

#### 【0014】

特開平07-13157は、図33に示すように、光源1aからの平行光束を画像素子2に導き、その反射光を第1の放物鏡3aにより投写レンズ3bの瞳に集光する。更に投写レンズ3bを通過した光束は第2の放物鏡3cで反射され、スクリーン4上に拡大像を形成する。この方式は、基本的にティルト方式であるが、照明光束とのカップリングに放物鏡3aを、スクリーンに一定角度の光束として入射させるために第2の放物鏡3cを追加することで、薄型の背面投写装置を得ようとするものである。明細書に具体的構成例が記載されておらずその実現性は分からない。しかしながら、確かに原理的には可能かも知れないが、この様な構成では光学的な仕様を満足できる可能性は殆どないと思われる。

## 【0015】

図34に示される特開平09-179064号もティルト方式に分類され、米国特許第5871266号や特開平07-13157と同様、屈折光学素子より構成される結像系30と凹面反射ミラー31とを組み合わせた構成を持つ。画像素子2からの光束は、図35の屈折光学素子3a~3gで構成される光学系30を通過し、更に凹面反射鏡31で反射され、スクリーン4に対して同じ傾きを持つ光束として入射する。この方式は、ティルト方式の歪曲を補正するために、アフォーカル系の特性を利用する。

## 【0016】

図36の様に2つの光学系30、31でアフォーカル系を構成し、2つの光学素子の間隔が各焦点距離の和になるように設定した場合、良く知られているように、物体の位置に関係なく常に倍率が一定となる。この様な光学系を、屈折光学素子からなる正の焦点距離の光学系30と、同じく正の焦点距離の凹面鏡31により構成し、スクリーン4に対して一定の角度で入射するようにすることで、歪曲を補正することが出来る。

## 【0017】

この従来例の場合、物体面に相当するスクリーン4の法線に対して、例えば70度という急角度で入射する実施例も記載されている。更に、歪曲を小さくし、解像力を向上するため、偏心光学素子や自由曲面を採用し自由度を確保している。この方式の欠点は、2つの光学系でアフォーカル系を構成し、更に拡大系とするため、どうしても2つの光学系30と31の間隔が長くなってしまう事である。即ち、投写レンズ30から凹面鏡31までの光束に沿う距離を $d_1$ 、凹面鏡31からスクリーン4までの同じ光束に沿う距離を $d_2$ とする時、大部分の光束に関し $d_1 > d_2$ となり、必然的に凹面鏡31が大きくなる。このため、量産性に問題を生じる。

## 【0018】

以上の公知例は主として投写装置に関連した技術であるが、斜入射光学系の他の用途として、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)装置の例をしてみる。

この用途に於ける重要な項目は、

- ・ 広い視野角（大きな拡大像）
- ・ 装置が小型である
- ・ 軽いこと

等が上げられる。視野角に関して言えば、瞳の大きさがほぼ決まっているため、必要な視野角が決まれば、画像素子からの取り込み角度との関係で必要な画像素子の大きさがほぼ決まってしまう。図 37 はその標準的な方式を示している。画像素子 2 からの光束は、リレー光学系 30 により一旦中間像 4 を作り、それを凹面鏡 31 で拡大し、303 に置かれた眼で観察する。凹面鏡 31 は、瞳に主光線を集める役割も果たす。この例の場合、基本的に共軸系であるため、設計しやすい光学系である。但し、眼と凹面鏡 31 の間に間隔が必要なのと、リレー部 30 を格納する空間も合わせると、かなり大きくなってしまう。

図 38 は、特開平 5-303055 記載の HMD 光学系である。画像素子 2 からの光束は、結像光学系を構成するリレー系 30、凹面鏡 31 を通して拡大像を作り、301 に置かれた眼で観察するものである。これも基本的に上記の構成と同じであるが、ビームスプリッタを省き装置の薄型化を図るために偏心系を採用している。これは、ティルト系に分類される斜入射光学系である。

#### 【0019】

特開平 7-191274 は、特開平 5-303055 を発展させ、図 39 や図 40 に示すように、1 枚の凹面鏡を複数の凸面鏡と凹面鏡で構成することにより、収差の補正をより確実にしようとするものである。凸面鏡を加えることにより、像高収差補正の自由度が大きくなり設計の幅が広がる。この場合も、眼に最も近い反射鏡は凹面鏡となっている。また、実施例の中には、リレー系 30 も反射鏡で構成し、全て反射光学系で構成した例も開示されている。これは、投写装置の項で述べた、米国特許第 5871266 号の結像系と同様、反射鏡だけで構成できる事を示した点で類似している。

#### 【0020】

特開平 10-239631 は、特開平 7-191274 の反射面の組み合わせを空間的に折り畳む事によりコンパクトにまとめた例である。これは、リレー系としての独立した自由度を利用出来ないため、広い視野角を得るのに大きな画像

素子が必要になるが、光学系の部分がコンパクトな分有利な方式となっている。自由度が少なくなった分を補充するために、反射面には自由曲面が使用されている。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

以上、2つの応用例に関する従来例を見てきたが、その他にも様々な用途に於いて斜入射光学系が活用されるようになってきており、製品への応用も広がり傾向を見せている。例えばHMD分野では、特開平10-239631で提案されたような現在の要求を満足する新しい斜入射光学系も提案されているが、今後要求される広視野角・高画質化には不十分である。特開平7-191274に開示される様に、反射面を増加することで、自由度の不足を補うことも考えられるが、反射面を増やすことは、高い面精度を必要とし、コストに跳ね返ってくる。この分野での更なる技術開発が要求されている。

一方、投写装置や撮像系への応用の場合には、眼で観察する場合と異なり、一段と厳しい性能が要求される。特に、液晶等の画像素子やCCD等の撮像素子の小型化が進み、同時に1画素の大きさも $\mu\text{m}$ の1桁台に入ってきた。その結果、光学系には高い解像力と同時に、明るさも要求される。反面、素子の小型化は、光学系の大きさにとって有利な条件でもある。この応用分野において米国特許第5871266号にもあるように、半画角 $60^\circ$ を越える画角での投写が出来れば、従来に比べて半分以下の奥行きディスプレイも可能となる。また、図42の特開平6-133311に示されるテレビ電話システムへの応用や、投写装置だけでなく、スキャナ等の薄型でなおかつ画像を一度に取り込める画像読みとり装置、立体画像読みとり装置、カメラ等、様々な入出力装置への応用展開が可能である。

【0023】

従って、現時点で要求される事は、斜入射光学系を実現する手段を出来る限り増やすことである。残念ながら、従来例で見てきたように、それらの光学系は、明るさ、解像力、大きさ、生産性、コスト等何らかの問題を抱えており、広範



囲な用途に適した斜入射光学系が少ないのが現状である。本発明は、斜入射光学系の新たな実現手段を提供し、それが様々な用途に応用されることを目的とするものである。また、従来技術では實際上困難であった半面角  $60^\circ$  を越えながら、歪曲の制御可能な、明るい斜入射光学系の実現手段も提供するものである。

#### 【0024】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明において、上記の目的を達成するため、光学系の構成に幾つかの条件を設定する。

まず、請求項 1 によれば、本発明の結像光学系は、物体と像の関係にある共役面の一方の共役面 A 上において、結像に寄与する任意の点での光束が、角度幅  $10^\circ$  以上の開き角を有することが最初の条件である。次の条件として、光学系の基本構成が、複数の光学素子より構成され少なくともその基準軸近傍において光束の収束作用を有する第 1 の光学系と、少なくともその基準軸近傍に於いて光束の発散作用を有する第 2 の光学系とから構成される。共役面 A からの光束は、上記 2 つの光学系を順次通過し、もう一方の共役面 B 上に収束する。更に、第 1 の光学系を通過する任意の光束に関し、その主光線を含むいずれかの断面内における光束の収束角が、共役面 A 上での光束位置が第 1 の光学系の基準軸から遠ざかるに従って相対的に減少する事を特徴とする。そして、第 1 の光学系と第 2 の光学系間の任意の光束に沿う距離を  $d_1$ 、第 2 の光学系と共役面 B 間の同じ光束に沿う距離を  $d_2$  とする時、 $d_2 > d_1$  を満足する。

#### 【0025】

請求項 2 によれば、本発明の結像光学系は、第 1 の光学系を通過する少なくとも一部の光束に関し、その主光線を含み請求項 1 の光束断面とは異なる光束断面内において、第 1 の光学系と共役面 B との間に収束点を有する。

#### 【0026】

請求項 3 によれば、本発明の結像光学系は、第 1 の光学系を通過する少なくとも一部の光束の主光線射出角が、第 1 の光学系の基準軸から共役面 A 上の光束位置までの距離  $h$  と、第 1 の光学系の基準軸近傍での焦点距離  $f$  とを用い、 $h = f \cdot \tan \phi$  より算出される射出角度  $\phi$  より大きくなる。

【0027】

請求項4によれば、本発明の結像光学系は、共役面Aを物体面、共役面Bを像面とする拡大系であるか、共役面Bを物体面とし、共役面Aを像面とする縮小系のいずれかである。

【0028】

請求項5によれば、本発明の結像光学系の共役面A、B上の互いに共役関係にある領域に関し、共役面Aの領域が、第1の光学系の基準軸と交わらない領域であると共に、共役面Bの領域が、第2の光学系の基準軸と交わらない領域である。

【0029】

請求項6によれば、本発明の結像光学系の共役面Aと共役面Bとのなす角が、 $10^\circ$ 以下である。

【0030】

請求項7によれば、本発明の結像光学系を構成する第1の光学系及び第2の光学系とが、それぞれ少なくとも1面の非球面あるいは自由曲面を有する光学素子を含む。

【0031】

請求項8によれば、本発明の結像光学系を構成する第1の光学系が、複数の主として屈折光学素子より構成されると共に、第2の光学系が主として反射光学素子より構成される。

【0032】

請求項9によれば、本発明の結像光学系を構成する第2の光学系が、単独の反射光学素子により構成される。

【0033】

請求項10によれば、本発明の結像光学系を構成する共役面A、第1の光学系、第2の光学系、あるいは共役面Bの少なくとも1つが、第1の光学系の基準軸、または第2の光学系の基準軸に関して偏心している、或いは偏心した光学素子を含む。

【0034】

請求項 11 によれば、本発明の結像光学系を構成する第 1 の光学系、あるいは第 2 の光学系の少なくとも一方が、回転対称光学素子から構成される。

【0035】

請求項 12 によれば、本発明の結像光学系を構成する第 1 の光学系、及び第 2 の光学系が全て共通の回転対称軸を有する回転対称光学素子より構成されると共に、両方の光学系の基準軸が共通の回転対称軸と一致している。

【0036】

以上の構成を採ることにより、目的の斜入射光学系が実現可能となる。以下に各条件の主な作用を簡単に説明する。

まず、光束が  $10^\circ$  以上の角度幅を持つことは、斜入射光学系が一定の明るさを保ち、その応用範囲を広げるための条件である。これにより、明るい結像光学系が構成でき、本斜入射光学系の応用範囲を広げる事が可能となる。

【0037】

次に、第 1 の光学系と第 2 の光学系間の任意の光束に沿う距離  $d_1$ 、第 2 の光学系と共役面 B 間の同じ光束に沿う距離  $d_2$  に関し、 $d_2 > d_1$  を満たすことで、第 2 の光学系に使用される光学素子の大きさが過度に大きくなることを防ぎ、光学系全体の大きさ、素子の量産性、コスト等、実際面での問題を解決できる。

【0038】

第 1 の光学系の基準軸近傍において収束作用を、第 2 の光学系の基準軸近傍において発散作用を有する事により、光学系全体を大型化することなく大きな画角を有する斜入射光学系を実現する事が出来る。また、投写装置等において長いバックフォーカスが必要な場合にも対応できる。

【0039】

第 1 の光学系を通過する任意の光束に関し、その主光線を含むいずれかの断面内における光束の収束角が、共役面 A 上での光束位置が第 1 の光学系の基準軸から遠ざかるに従って相対的に減少する様に構成する事により、第 2 の光学系以降共役面 B 迄の大きな距離の差に対応することができる。これにより、第 1 の光学系と第 2 の光学系の役割分担を行い、第 2 の光学系は、第 1 の光学系で補正しき

れない部分を修正しつつ、且つ画角の拡大も行う。収束角が減少するとは、第1光学系射出後の光束の収束角度が単に小さくなるだけではなく、発散光となる場合も含んでいる。

#### 【0040】

第1の光学系を通過する少なくとも一部の光束に関し、上記収束角が小さくなる断面とは異なる断面内において、第1の光学系と共役面Bとの中間に収束点を持つことにより、第1の光学系と第2の光学系の役割分担を行い、画角の拡大を行うことが可能となる。換言すれば、第2の光学系は、少なくとも光束のこの断面内において発散作用を有する事を意味する。

#### 【0041】

光学系を通過する少なくとも一部の光束の主光線射出角が、第1の光学系の基準軸から共役面A上の光束位置までの距離 $h$ と、第1の光学系の基準軸近傍での焦点距離 $f$ とを用い、 $h=f \cdot \tan \phi$ より算出される射出角度 $\phi$ より大きくなる様に構成することで、第1の光学系の大型化を防ぎ、光学系全体を小型化する事が出来る。本発明の第1の光学系は、偏心光学系や自由曲面素子を含んでいるため、焦点距離の概念は局所的にしか成り立たない。従って、第1の光学系の基準軸近傍に於ける焦点距離 $f$ を基準として計算する。この時、上式で算出した角度 $\phi$ より実際に第1の光学系より射出する光束の角度が大きくなることを意味している。第1の光学系が小型化出来る原理は、魚眼レンズと類似している。魚眼レンズは、 $h=f \cdot \sin \phi$ の特性を持っており、例えば半球に相当する画角を持っていないが、光学系自身は小型である。本発明でも、 $\tan \phi$ の特性を崩すことで、小型化を図る。この時発生した歪曲特性は、第2の光学系との組み合わせにより補正する。

#### 【0042】

以上の結像光学系は、共役面Aを物体面として共役面Bに拡大像を形成する拡大光学系として利用できる。また、光学系の構成そのものは同一であるが、物体と像の役割を逆にして、共役面Bの縮小像を共役面A上に形成する縮小光学系として用いることもできる。

#### 【0043】

この様な互いに共役関係にある拡大または縮小系において、共役面 A、B それぞれの領域に関し、共役面 A の領域が、第 1 の光学系の基準軸と交わらない領域であると共に、共役面 B の領域が、第 2 の光学系の基準軸と交わらない領域である様に構成することは、本発明の方式を主としてディセンタ方式として構成し、基本的な歪曲補正を行うことができる。

共役面 A と共役面 B のなす角を 10 度以下に設定することも、ディセンタ方式を保証する 1 つの要素である。

#### 【0044】

光学系の中に、少なくとも 1 面の非球面あるいは自由曲面を有する光学素子を使用することは、単に設計の自由度を広げるだけではなく、簡単な構成で要求される仕様を満足し、各光学系の役割分担を実現する上で必須の条件である。これらの光学素子を、第 1、第 2 の両光学系に採用することがより効果的である。

#### 【0045】

第 1 の光学系を主として複数の屈折光学素子より構成し、第 2 の光学系を主として反射光学素子より構成することは、製造上予測される問題を回避し、実現性のある斜入射光学系を提供する上で重要である。全て反射系で構成することも可能ではあるが、この様な系は、従来例で説明したように、量産性に問題がある。一方、全て屈折系で構成することは、特に第 2 の光学系が大きくなるため、同じく量産上の問題が大きい。第 1 の光学系を主として屈折系で構成し、第 2 の光学系に反射光学系を効果的に用いることで、同じ反射系を作る場合も精度的な問題を軽減できる。

#### 【0046】

更にこの考えを進めて、第 2 の光学系を単独の反射光学素子により構成する事で、光学系の簡略化ができ、コスト的にも有利である。

#### 【0047】

光学系の構成要素、即ち、共役面 A、第 1 の光学系及びそれを構成する光学素子、第 2 の光学系及びそれを構成する光学素子、あるいは共役面 B の少なくとも 1 つに、第 1 の光学系の基準軸、または第 2 の光学系の基準軸に対する偏心の自由度を持たせることで、設計の自由度を増やすことができる。

【0048】

第1の光学系、あるいは第2の光学系の少なくとも一方を、回転対称光学素子から構成する事により、製造コスト、組立性を大幅に向上することが出来る。

【0049】

第1の光学系、及び第2の光学系を全て共通の回転対称軸を有する回転対称光学素子より構成し、その軸と各光学系の基準軸を一致させることにより、更に製造コスト、組立性の向上が可能となる。

【0050】

【発明の実施の形態】

それでは、次に具体的な構成例を基にして、本発明の実施の形態について説明を行う。

本発明の実施の形態は多岐に渡り、それらを全て説明するのは冗長である。そのため、説明に使用する具体例として、共役面Aに置かれた画像形成素子2の拡大像を共役面B上に置かれたスクリーン4上形成する投写装置の実施の形態を例にとって説明する。また、投写装置には、本来照明部が必要であるが、本発明にとって本質的ではなく、説明の煩雑さを避けるため、あくまでも画像形成に不可欠な結像光学系の周辺に限って説明を行う。従って、説明に使用する図面においても、説明に必要な部分以外は省略する。

【0051】

図1は本発明の第1の実施形態である投写装置の結像光学系断面図である。

共役面Aには画像形成素子2が置かれている。この例における画像形成素子2は、対角長0.7 inchの4:3のアスペクト比を有する透過型の液晶素子である。図1の画像形成素子2の左側には、画像形成素子2に光束を導く照明部1が設けられているが、図では省略している。画像形成素子2から射出する光束は、屈折光学素子より構成される第1の光学系30を通過し、更に1枚の反射鏡により構成される第2の光学系31で反射されて、スクリーン4上に100 inchの大きさの拡大像を形成する。

【0052】

第1の光学系30、及び第2の光学系31は、それぞれ基準軸3A及び3Bを

有しており、無限にある物点から入射する平行光束に関し、第1の光学系30は基準軸3Aの近傍において収束作用を、第2の光学系31は基準軸3Bの近傍で発散作用を有する。画像形成素子2は、第1の光学系30の基準軸3Aより図中下側に置かれている。スクリーン4の下部に集光する光束321は、画像形成素子2の基準軸3Aに最も近い点から射出する光束である。同じくスクリーン4の上部に収束する光束328は基準軸3Aに最も遠い点から射出する光束である。

第2の光学系31からスクリーン4までの基準軸Bに沿う距離は2mである。また、光学系30、31から構成される結像光学系は、スクリーン4の下側に置かれており、観察側の下から上向きにスクリーンめがけて投写する形式の前面投写型の投写装置である。

### 【0053】

図2は、第1の光学系30を通過後の光束に関し、第2の光学系が作用しない場合の光束の収束具合を示す図で、図1の断面図と同じ断面内での光束311～318を併記している。図1と異なるのは、第2の光学系を構成する反射面31が反射面として機能せず、そのまま透過するものとして図示していることである。スクリーン4は、第2の光学系31の基準軸3Bから、図1と同じ距離に置かれている。図2の基準軸3Bより離れた光束ほど、画像形成素子2上で、第1の光学系の基準軸3Aより遠い点から発した光束に対応している。更に、図中に各光束の収束点（光束の径が最も小さくなる点）も示している。△印は、図2の紙面光束断面内での収束点を、●印は紙面に直交する光束断面内での収束点を示している。曲線31S及び31Tは、それぞれの点をつないだ曲線である。この図から、第1の光学系30を通過した紙面内の光束の収束点（△）が、基準軸3B（基準軸3A）から遠ざかるに従って光学系31から遠くなるとともに、その収束点での収束角が徐々に小さくなってゆくことがわかる。一方、それに直交する断面内の収束点（●）には、大きな位置の変化が見られない。ここでの収束角とは、着目する光束断面における収束点での最大開き角として定義する。第1の光学系30を射出後に、収束点が無い発散光束の場合には、発散の最大開き角として定義し、符号を負とする。従って、光束の収束角が徐々に小さくなって更に発散に移行する場合も、収束角は統一して小さくなると表現できる。この例では、各

断面の収束点は、全て第 2 の光学系 3 1 とスクリーン 4 の間に形成されている。

## 【0054】

図 3 は第 1 の光学系 3 0 の断面図である。6 群 8 枚の屈折光学素子から構成され、全ての面が基準軸 3 A の回りの回転対称形状を有している。従って、基準軸 3 A は、いわゆる光学系の光軸と一致している。偏心系を含む一般の場合には、このような対応は成り立たない。その場合、基準軸の選び方に、若干の任意性が生じるが、最も合理的或いは便利と思われる軸を基準軸に設定すれば良い。画像形成素子 2 から発する光束は、画像形成装置 2 の側から、 $r_1, r_2, \dots, r_{14}$  で示される屈折面を順次透過して、第 2 の光学系 3 1 に導かれる。以上のように、本例の第 1 の光学系 3 0 は、すべて回転対称系の素子より構成されたため、通常の意味での焦点距離が定義でき、 $f = 37.1 \text{ mm}$  である。

## 【0055】

表 1 は、図 2 の第 1 の光学系通過後の光束 3 1 1 ~ 3 1 8 に関する、主光線の射出角を示すものである。表中、像高とは第 1 の光学系の基準軸 3 A から画像形成素子 2 の対応する発光点までの距離である。射出角度の欄が実際の各主光線が基準軸 3 A となす角、計算角度の欄が、像高を  $h$  として、 $h = f \times \tan \theta$  が成り立つとして  $\theta$  を算出した時の計算射出角度である。この表から、基準軸 3 A から離れるに従って、計算角度より実際の射出角度が大きくなっていることが分かる。基準軸 3 A に近い部分では殆ど差が見られない。

## 【0056】

【表 1】

光束番号	像高	射出角度	計算角度
311	3.50	5.41	5.39
312	5.00	7.74	7.67
313	6.50	10.09	9.93
314	8.00	12.46	12.16
315	9.50	14.83	14.36
316	11.00	17.25	16.51
317	12.50	19.70	18.61
318	14.17	22.48	20.89

## 【0057】

次に図 1 の第 2 の光学系を構成する反射鏡 3 1 は、基準軸 3 B を回転軸とする回転対称形状を有する非球面である。従って、この場合も光軸と基準軸 B が一致する。この反射鏡は基準軸近傍において曲率半径約 400 mm の凸面で、入射光



束を発散させる働きを持つ。従って、基準軸近傍に於ける焦点距離は約 200 mm である。

## 【0058】

更に、本実施の形態において、光学系 30 及び 31 は、それぞれの基準軸が同一直線に一致するように置かれており、結果として共通の光軸が定義される。光軸近傍に於ける光学系 30 と 31 を併せた全系の焦点距離は 14.7 mm となっ

ている。表 2 は第 2 の光学系 31 で反射後の各主光線の光軸とのなす角度と全系の焦点距離から求めた計算角度を示している。多少の差はあるもの、角度の大きさに比較して、実際の射出角度と計算射出角度が良く一致している。これは、結像関係が近軸的であり、歪曲が小さいことを意味している。なお、ディストーションは 0.5 % 以下である。なお、全ての実施例のディストーションには、全て TV ディストーション表示を使用する。

## 【0059】

【表 2】

光束番号	像高	射出角度	計算角度
311	3.50	13.39	13.39
312	5.00	18.75	18.78
313	6.50	23.77	23.84
314	8.00	28.39	28.54
315	9.50	32.58	32.86
316	11.00	36.36	36.79
317	12.50	39.79	40.36
318	14.17	43.24	43.93

## 【0060】

共通の光軸に沿う第 1 の光学系 30 と第 2 の光学系 31 の距離が 280 mm、第 2 の光学系 31 とスクリーン 4 の距離が 2 m ある。従って、第 1 の光学系 30 と第 2 の光学系 31 間の任意の光束に沿う距離  $d_1$  と、同じ光束の第 2 の光学系 31 とスクリーン 4 までの光束に沿う距離  $d_2$  に関し、明らかに  $d_2 > d_1$  の関係が成立している。また、第 1 の光学系 30 は、画像形成素子 2 の任意の一点から開き角 23 度 ( $F_n \circ 2.5$ ) 以上の光束を取り込んでいる。画像形成素子 2 とスクリーン 4 は平行に置かれ、共通の光軸はそれらの面の法線となっている。

## 【0061】

以上が、第 1 の実施形態の概要である。以下において、他の幾つかの実施の形態に関する説明を行うが、説明の煩雑さを避けるために、更に、幾つかの便宜的

な仮定を設ける。即ち、第1の光学系及び第2の光学系が、全て共通の回転対称軸を有する光学素子より構成されることを前提とする。従って、両光学系の基準軸は、共通の直線上にあり、いわゆる光軸と一致している。同様に、画像形成素子及びスクリーンは、この光軸と直交し、互いに平行であると仮定する。これらの仮定は、本発明の構成条件をより厳しく制限することではあるが、説明の一般性を失うことは無い。従来技術の項で説明したように、偏心系や非回転対称系である自由曲面を使用することは、設計の自由度を増やすことであり、構成のバリエーションを広げることが可能となることは言うまでもない。

## 【0062】

以上の仮定の下に、他の実施形態について説明を行う。

図4は、本発明の第2の実施形態を示す投写装置の例である。画像形成素子2として、透過型の1.3 inchの素子を用い、スクリーン4上に50 inchの拡大像を形成するものである。以下に第1の実施形態と異なる主な点について説明する。まず、基準軸3Aを有する第1の光学系30は、2枚の屈折光学素子から構成されており、画像形成素子2側に正、第2の光学系31側に負のパワーを有する光学素子を配している。基準軸3Bを有する第2の光学系は、単独の屈折光学素子31により構成されている。構成枚数が少ない点、第2の光学素子31が屈折光学素子より構成されている点を除けば、基本的には第1の実施形態と類似している。

## 【0063】

図5に、第1の実施形態の図2に相当する、光束の収束の様子を示す。各記号の意味は、図2の場合と同様である。光軸から最も離れた光束319の収束点が、スクリーン4を越えた位置にある他は、図2の場合と同様の傾向を示している。即ち、紙面内の収束点(△)は、曲線31T上にあり、光軸3Bから離れるに従って徐々に第2の光学系31から離れ、その収束角も徐々に小さくなる。これに対し、紙面に垂直な断面の光束の収束点(●)は、曲線31S上にあり、第2の光学系31により近い位置にある。図4の第2の光学系31からスクリーン4迄の距離は700 mmであり、第1の光学系と第2の光学系の距離は300 mmである。また、第1の光学系30が、画像形成素子2から取り込む光束の開き角は1

0度（約Fno5.6）である。第1の光学系の焦点距離は61.3mmで、第1、第2の光学系を併せた合成焦点距離は15.7mmである。表3に、第1の光学系30から射出する光束の射出角度と、上記焦点距離から求めた計算角度を示す。

【0064】

【表3】

光束番号	像高	射出角度	計算角度
311	10.00	9.40	9.27
312	12.50	11.90	11.53
313	15.00	14.38	13.76
314	17.50	16.91	15.95
315	20.00	19.49	18.08
316	22.50	22.12	20.17
317	25.00	24.81	22.20
318	27.50	27.58	24.18
319	29.81	30.24	25.95

【0065】

この例でも、計算角度より、実際の角度が大きくなっている。表4に、第2の光学系31を射出後の光束の射出角度と、全系の焦点距離から計算した射出角度を示す。

【0066】

【表4】

光束番号	像高	射出角度	計算角度
311	10.00	24.13	32.52
312	12.50	29.17	38.55
313	15.00	33.59	43.72
314	17.50	37.42	48.13
315	20.00	40.75	51.89
316	22.50	43.66	55.12
317	25.00	46.21	57.89
318	27.50	48.47	60.30
319	29.81	50.33	62.25

【0067】

第1の実施の形態とは異なり、実際の角度と、計算角度が異なっている。これは、光学系の周辺に於いて、近軸的な焦点距離が意味を持たない事を示唆している。この事実にも関わらず、スクリーン4上での歪曲は、0.16%以下に抑えられている。更にここで注目すべき事は、第1の光学系の基準軸Aに関する表3の射出角度と、それに対応する第2の光学系の基準軸Bに関する表4の射出角度が大きく異なっていることである。これは、第2の光学系の射出角度増加に果たす役割の大きいことを示している。本実施例は、ここで取り上げる実施例を通じて増加の割合が比較的小さい方の例である。それでも、射出角度の正接の比、即ち射出角の $\tan \theta$ の比は、最も小さい光線番号319でも2を越えている。

## 【0068】

図6は、本発明の第3の実施形態を示す投写装置の断面図である。画像形成素子2として、反射型の0.9 inchの素子を用い、そこからの光束を屈折型光学素子から構成される第1の光学系30と1枚の反射鏡から構成される第2の光学系31により、スクリーン4上に60 inchの拡大像を形成する。途中結像には寄与しないが、光路を折り畳むための平面鏡301が設けられている。そして、投写の形態としては、第1及び第2の実施形態と同様、スクリーン中心下部から上方への投写光学系である。この例は、本発明の斜入射光学系を投写装置として用いる場合の典型的な例の1つである。比較的簡単な構成ながら、投写系としての十分な性能も有している。第2の光学系31からスクリーン4迄の距離はわずか450 mmである。また、第1の光学系が画像形成素子2から取り込む光束の開き角は14.4度(Fno4)である。図6の断面図中、最も大きな画角を有する光束328が光軸3Aとなす角は63度である。この様に非常に大きな画角を持ちながら、歪曲は0.03%と殆どない。また、第1の光学系30から第2の光学系31及び、第2の光学系31からスクリーン4までの光束に沿う距離d1、d2の中で、最も差が小さくなるのが光束321である。その時、 $d1 = 298.2$ 、 $d2 = 520.7$ で、 $d2 > d1$ を満足している。

## 【0069】

図7は、これまでの例と同様、各光束断面に於ける収束点の位置を示している。この例では、曲線31T上の断面に相当する収束点が、スクリーン4を越える割合が更に増えており、光束315以降は全て、スクリーン4を越える。光束318では、収束点を持たず、ほぼ平行光となる。図8は、第1の光学系30の断面図である。この実施例では、画像形成装置2として、反射型の液晶を使用している。一般的に反射型の素子では、照明光束を導くための空間として、十分なバックフォーカスを要求される。本例でも、画像形成素子2と第1の光学系30の最も画像形成素子側の光学素子との間に、十分な空気間隔を確保しており、実に合成焦点距離の8倍以上に達している。ちなみに、第1の光学系の焦点距離は35.5 mm、第2の光学系の焦点距離は-96 mm、全系の焦点距離は7.9 mmである。

## 【0070】

図9は本発明の第4の実施形態を示す断面図である。これまでの例と同様、観察側からスクリーンに投射する前面投写型の投写装置の断面図である。これまでと異なる点は、この投写装置がスクリーン4の真横に設置されており、更に投写する画像位置を移動する事が出来ることである。図9はスクリーン4の上下2等分線を含む水平面で切断した断面図である。また、図10は図9の装置を、観察側から見た様子を表している。

## 【0071】

使用する画像形成素子2は、0.7 inchの反射型素子である。画像形成素子2から射出する光束は、屈折光学素子から構成される第1の光学系30と、1枚の反射鏡から構成される第2の光学系31を通過してスクリーン4の上に60 inchの大きさの画像を形成する。第2の光学系31からスクリーン4迄の距離は700 mmである。投射される画像は、水平方向に移動可能であり、水平方向の端が光束321と光束328とで形成される60 inchの画像位置から、光束321'と光束328'で形成される画像位置へと、画面の半分に相当する距離を移動できる様に構成されている。観察者側から見ると、図10のスクリーン4から点線で示される4'へ移動するように見える。本例のように、斜めからの投写が可能で、しかも投写距離が短い投写装置では、映像を見る際、投写装置自身がじゃまになることは少ない。それでも投写装置の設置場所に自由度を与える意味で、この機能は重要である。

## 【0072】

図11は、図10と同じ断面内において、第1の光学系30を射出した光束の収束点を示した図である。第1の光学系30を射出した光束は、第2の光学系31で反射し、スクリーン4の上に収束するが、この図は、第2の光学系の作用を受けず、そのまま透過し、スクリーン4に相当する位置に向かうとして描いている。第2の光学系31とスクリーン相当面4との距離は、700 mmである。光束311から光束318'と右側の光束ほど、画像形成素子2の同じ断面内の基準軸3Aを挟んで左側、即ち基準軸3Aから離れた位置から発する光束に対応する。△印は紙面の光束断面での収束点、○印は紙面に直交する光束断面内での収束点

を表す。図から明らかなように、紙面内の収束点は光束の発光点が基準軸 3 A から離れるに従って、第 1 の光学系から遠くに収束し、光束 3 1 8' の場合は収束点を持たない発散光になる。従って、収束角は光束 3 1 1 から徐々に小さくなり、光束 3 1 8' では負である。紙面に直交する断面内の光束の収束点は、紙面内の収束点より、第 1 の光学系 3 0 に近い側に出来ている。光束 3 1 8' ではほぼスクリーンの位置に形成される。なお、第 1 の光学系 3 0 が画像形成素子 2 から取り込む光束の開き角は 14.4 度 (F n o 4) , 歪曲は最大 0.23 % である。

図 1 2 に、第 1 の光学系の断面図を示す。

#### 【0073】

図 1 3 は、本発明の第 5 の実施形態を示す図である。これは、通常のテレビと同様、スクリーンの背面から投射される画像をスクリーンの前面から観察する背面投写型の投写装置である。

#### 【0074】

画像形成装置 2 は透過型の液晶表示装置で、そこから発する光束は、第 1 の光学系を構成する 2 枚の反射鏡 3 0 a と 3 0 b , 第 2 の光学系を構成する 1 枚の反射鏡 3 1 , 更に平面鏡 3 0 1 で順次反射されスクリーン 4 上に拡大像を形成する。画像形成素子 2 の大きさは 1.3 inch , スクリーン上の画像の大きさは 50 inch である。この様に平面鏡 3 0 1 を使用し、光束を折り畳むことで、非常に薄型の背面投写が可能となる。この投写装置の中で、最も厚みのある部分は、平面鏡 3 0 1 とスクリーン 4 の間で 280 mm である。これは従来の約半分の厚さである。図 1 4 はこの装置をスクリーンの背面から見た図である。図 1 5 に光束の収束の様子を、図 1 6 に結像系部分の断面図を示す。なお、第 1 の光学系 3 0 が画像形成素子 2 から取り込む光束の開き角は 11.5 度 (F n o 5) , 歪曲は最大 0.57 % である。

#### 【0075】

最後に、本発明の第 6 の実施形態を図 1 7 に示す。これも実施の形態 5 と同様、背面投写型の投写装置である。図 1 7 は、その上面図である。

0.7 inch の画像形成装置 2 から発する光束は、屈折型光学素子より構成される第 1 の光学系 3 0 , 平面鏡 3 0 1 , 1 枚の反射鏡から構成される第 2 の光学系

31, 平面反射鏡302を通過して、スクリーン4上に100 inchの大きさの像を結ぶ。この背面投写装置も非常に薄く、平面反射鏡302とスクリーン4の距離が400 mmとなっている。また、投写装置の下部にある第1の光学系30からスクリーン4の下端までの高さも低く、全体的に背丈の低い理想的な投写装置となっている。第1の光学系30が、画像形成装置2から取り込む光束の開き角は23.1度(Fno2.5)である。また、歪曲は0.06%以下である。図18は、投写装置の全体の正面図、図19は第1の光学系の断面図である。

## 【0076】

以上、投写装置への応用に限って、本発明の斜入射光学系の実施形態を説明した。その中で、本発明の各条件が、それぞれの形態の中で成り立っていることも併せて見てきた。以下に於いて、それが必要な理由に関し、再度の補足説明を行う。

## 【0077】

まず、請求項1の諸条件の中で、共役面A上の任意の点で角度幅 $\theta$ が10度以上であることは、斜入射光学系明るく、かつ応用範囲を広げるための重要な条件である。本出願人の米国特許第5871266号においては、確かに従来困難であった斜入射光学系が実現できたが、取り込み角 $\theta$ が8度以下に限定されている事が、その適用範囲を狭める問題点の1つであった。本発明においては、この取り込み角度を広げるための成立条件を見直し、また非球面や自由曲面等の自由度を適宜利用することで、米国特許第5871266号の条件を大幅に緩めることが可能となった。それらの諸条件を満足することにより、反射系、屈折系等その構成要素に制約される事無く斜入射光学系が実現できる。

## 【0078】

本発明の基本は、基準軸近傍において光束の収束作用を有する第1の光学系と、基準軸近傍に於いて光束の発散作用を有する第2の光学系により構成されることである。第1の光学系が主として結像条件の整合を受け持ち、第2の光学系が主として斜入射角度を増やす働きを受け持つ。実施の形態でも述べたように、第2の光学系により、第1の光学系の射出角を倍以上に増大させる場合もある。但し、このような役割は、完全に分離できる訳ではなく、互いの密接な補間関係の上

に成り立っている。その補間関係がうまく成り立つためには、一定の条件を満たすことが必要となる。

## 【 0 0 7 9 】

まず、第 1 の光学系を通過後の任意の光束に関して、その主光線を含むいずれかの光束断面内における収束角が、共役面 A 上での光束位置が第 1 の光学系の基準軸から遠ざかるに従って相対的に減少する事が必要である。これは、言い換えれば、基準軸から離れた光束ほど、光束に沿って測った収束点までの距離が長くなる事を意味する。また、場合によっては収束点を持たず、その断面内で発散光束となる場合もある。この光束断面は、常にある特定の断面内にあるとは限らず、光学系の構成、使用する素子の特性・形状等によって、その断面も変化する。しかし、本実施の形態で使用した、回転対称光学系の場合には、その回転対称軸（光軸）を含む平面で光束を切った断面内で、ほぼこの条件が成立する。

## 【 0 0 8 0 】

この光束断面の収束角に関する条件は、斜入射光学系の基本的な問題である距離の差、即ち、基準軸の近傍の光束と、基準軸から離れた光束とで、共役面 B まで到達する距離が大きく異なることをうまく補正するための必要条件である。第 2 の光学系は、上記のように射出角を更に大きくする作用をもつが、それと同時に歪曲の補正も同時に行う必要がある。この 2 つの作用を果たすことと同時に、結像に関する収束条件を調整することは困難であり、そのために第 1 の光学系の側で、一定の条件を整えておく必要がある。

## 【 0 0 8 1 】

さて、同様に、第 1 の光学系側で必要とされる別の条件が、第 1 の光学系を通過後の少なくとも一部の光束に関して、その主光線を含み、上記断面と異なる光束断面内での光束の収束点、第 1 の光学系と共役面 B との間にあることである。即ち、この断面内での光束は、第 2 の光学系が作用しない場合には、共役面 B の手前に収束点を持つことを意味する。言い換えれば、この断面内の光束に関する第 2 の光学系の総合的作用が発散作用であることを意味する。一般的に言って、その基本構成からも分かるように、第 2 の光学系は概して大きくなる傾向をもつ。その光学系を多くの光学要素で構成することは、決して得策ではなく、なる



べく簡単な構成で実現できる事が大切である。この条件は、それを可能とするための条件である。

#### 【0082】

そして、もう一つの第1の光学系側で必要とされる条件が、第1の光学系を通過する少なくとも一部の光束の主光線射出角が、第1の光学系の基準軸から共役面A上の光束位置までの距離 $h$ と、第1の光学系の基準軸近傍での焦点距離 $f$ とを用い、 $h=f \cdot \tan \phi$ より算出される射出角度 $\phi$ より大きくなることである。

これは、第1の光学系の小型化にとって有利であるとともに、射出角を広げる作用を補助する役割を持つ。即ち、第1の光学系を射出する光束に、 $h=f \cdot \phi$ 或いは、 $h=f \cdot \sin \phi$ 特性のような、 $f \cdot \tan \phi$ で決まる角度より大きな射出角を持たせる。第1の光学系にこのような特性を持たせ、第2の光学系と併せ、全体の収差のバランスを取る。

#### 【0083】

第1及び第2の光学系が、基本的な構成条件を満たすと共に、第1の光学系射出後の光束に関する上記の諸条件を満足することで、目的の斜入射光学系を構成することが可能となる。更に、共通した条件として、第1の光学系と第2の光学系間の任意の光束に沿う距離を $d_1$ 、第2の光学系と共役面B間の同じ光束に沿う距離を $d_2$ とする時、 $d_2 > d_1$ を満足することが重要である。この条件は第2の光学系も出来る限り小さくする事により、本発明の斜入射光学系の適用範囲を広げ、且つ製造しやすい光学系を提供する条件である。この条件が満たされない場合、第2光学系が大きくなり、結果として装置全体が大きくなり、設置場所、コスト等に様々な問題を生じてしまう。

#### 【0084】

本発明の斜入射光学系は、以上の条件を満たし、かつ共役面Aの拡大像を共役面B上に形成する場合において、非常にバランスの取れた光学系が実現できる。或いは、その物体と像の役割を逆にして、共役面Bの縮小像を共役面A上に形成する場合でも当然良い結果が得られる。

#### 【0085】

斜入射光学系を実現するための主な方法として、従来例の項で2つの方式を採

り上げた。即ち、ティルト方式とディセンタ方式である。従来例は、このどちらかに区分できるが、その境界は明確ではなく、その複合型と考えられる方式もある。本方式も、どちらかと言えば複合型に区分されるものであるが、実際上の応用面を考える場合、ディセンタ方式に近い形で使用した方が都合の良い場合が多い。ディセンタ方式の場合、共役面Aと共役面Bとをほぼ平行の関係に置き、光学系の光軸に対し互いに反対方向に移動させることで斜入射光学系を実現するも

のである。本方式を、この様に用いる場合、共役面Aの結像に関わる領域が、第1の光学系の基準軸と交わらない領域であると共に、共役面Bの結像に関わる領域が、第2の光学系の基準軸と交わらない領域である様に構成し、場合に応じて、共役面Aと共役面Bとのなす角を10度以下とする付加的な条件を加える事により実現できる。これは特に、実施の形態でも述べた背面投写装置の場合、第2の光学系と共役面Bの中間に置く平面ミラーも共役面Bと平行に出来るため、保持等が簡単でしかも薄く出来るため、全体の重量低減にも役立つ。

#### 【0086】

更に、全ての光学系を回転対称光学素子で構成することにより、製造上従来の設備で加工でき、また組み立ても簡単に出来るという大きな利点がある。当然コストも安くできる。

#### 【0087】

もちろん、このような場合でも、各光学素子、或いは光学系同士を偏心系とする事で、設計の自由度が多くでき、設計の幅が広がることは言うまでもない。ここで、強調したいことは、その様な複雑な自由度を使わずに、従来の方法で製造可能な素子の組み合わせでも特徴を有する斜入射光学系が実現できる点である。

#### 【0088】

次に、本発明の具体的な構成方法・手段に関し触れておく。まず、各光学系の構成に関し、第2及び第5の実施形態でも述べたように、全て屈折光学素子或いは反射光学素子により構成する事も可能である。ただ、現実的な構成として推奨できるのは、第1の光学系を主として複数の屈折光学素子、第2の光学系を主として反射光学素子とする構成である。以下に、その理由を説明する。まず、全てを屈折光学素子で構成する場合、第2の光学系の屈折光学素子が大きくなってし

まう。また、形状的にも作りにくいものとなるため、コスト的に不利となる。また、第2の光学系では画角の変化が大きいため、カラー画像を扱う場合、色消しが大変となる。その点、第2光学系を反射系で構成すれば、以上の問題点を殆ど解決出来る。

【0089】

一方、第5の実施形態の様に、光学系全てを反射系で構成する場合、或いは、反射系を中心として構成する場合、特に精度の問題が大きい障害になる。これは天体望遠鏡のように、複数の反射鏡を組み合わせる場合、典型的に経験する問題である。実現不可能ではないにしても、コストが問題となってしまう。これに対し、第1の光学系を、屈折光学素子を中心として構成すれば、その様な問題は発生せず、上記第2の光学系に反射光学素子を採用する事と併せ、バランスの良い光学系が構成できる。

【0090】

更に、上記の構成を一步進めて、第2の光学系を1枚の反射鏡で構成可能とすることが出来れば、最適な光学系が実現できる。特に第2の光学系に採用される反射鏡は、比較的各光束が小さく絞られると同時に、反射鏡自体はある程度の大きさの面積を有するため、要求される面精度は、他の場所に使用する場合に比べゆるくなる。例え面精度が悪くても、主として歪曲特性だけに影響する事が多く、何らかの手段で補正する事も可能である。1枚の反射鏡で構成することは、この様な利点を有する反面、その設計条件を厳しくする。即ち、1面の反射鏡では、最初に述べた、第2の光学系の役割、例えば、射出角度の変換、及び歪曲の補正の役割を持たせたとすれば、残された自由度は殆ど無くなってしまう。そのため、第1の光学系との組み合わせにより収差補正を行うという概念は、より厳密に適用されなければならない。そして、要求される仕様によっては、これまで述べた幾つかの条件が同時に成り立つようにする必要も生じる。

【0091】

最後に、本発明を構成する上で重要な自由度である、非球面及び自由曲面について説明する。これは、構成を出来るだけ簡単にして、全体を小型化する上で、不可欠な手段であると同時に、第1と第2の光学系に於ける役割分担を行う自由

度としても、非常に重要である。そして、第 1 の光学系及び、第 2 の光学系それぞれに、少なくとも 1 面の非球面あるいは自由曲面を配することで、それが可能となる。更に、第 1 の光学系中の共役面 A に近い側に 1 面、第 2 の光学系に近い側に 1 面の、併せて 2 面以上の非球面或いは自由曲面を使用する事は、一層効果的である。非球面、自由曲面として、種々のタイプの曲面が使用可能になってきた。特に近年の自由曲面加工機及び、対応する測定機の進歩により、設計、或いは加工の際、表現可能でさえあれば、いかなる曲面でも加工が出来るようになってきている。本発明に使用するその様な曲面は、使用する場所、用途、仕様、加工先の条件、コスト等を勘案し、適切なものを選択すればよい。これら曲面の製造方法としては、樹脂や硝子の切削・研磨・成型等が考えられるが、量産を考えるとやはり成型が最も効率が良い。具体的には、樹脂成型、硝子成型、硝子球面上に樹脂を載せるハイブリッド成型等が適当である。

【0 0 9 2】

## 【実施例】

最後に、各実施の形態に対応する実施例を、具体的な数値例と共に記す。

実施の形態 1 に対応する第 1 の実施例を表 5 に示す。表 5 の左端の番号 1 ~ 14 は、第 1 の光学系 3 0 を表す図 3 の 1 ~ 14 の各記号に対応する。特に図示はしていないが、屈折率、分散も各面の値に対応している。番号 0 は、画像形成素子 2 に相当し、d 0 は画像形成素子 2 から第 1 の光学系の最初の面である r 1 迄の光軸に沿う距離である。

【0 0 9 3】

【表 5】

番号	曲率半径R	間隔d	屈折率n	分散vd
0	0.00	46.89	1.00000	
1	132.14	8.80	1.61272	58.60
2	-75.09	0.10	1.00000	
3	60.21	18.00	1.61272	58.60
4	-117.38	1.50	1.71736	29.50
*5	46.92	50.63	1.00000	
6	163.32	1.50	1.68893	31.20
7	-40.23	12.66	1.61272	58.60
8	-110.33	27.71	1.00000	
9	278.19	12.00	1.61272	58.60
10	-66.98	0.10	1.00000	
11	64.25	34.19	1.69700	48.50
12	38.97	15.10	1.00000	
13	-31.77	3.00	1.64048	59.75
*14	422.41	280.00	1.00000	
*15	401.48	-2000.00	MIRROR	
16	0.00	0.00	1.00000	

【0 0 9 4】

表 5 の番号の欄に \* 印を付してある面は、その面が非球面であることを示している。以下の実施例では、光学系の自由度を確保するための非球面として、全ての実施例で、式 1 の非球面式を採用している。理由は、実施の形態の冒頭に述べたように、煩雑さを避けるため、回転対称系に限定して議論したためで、この場合は、式 1 の表現で十分な性能が得られる。但し、その選択は、あくまでも便宜的な理由に過ぎない。

【 0 0 9 5 】

【式 1】

$$z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + A_4h^4 + A_6h^6 + A_8h^8 + \dots + A_{26}h^{26}$$

【 0 0 9 6 】

式 1 の z は、非球面の頂点を通る基準平面からの光軸方向の深さである。また、c は面の曲率半径の逆数、h は面の光軸からの高さを表している。k は円錐定数、 $A_4 \sim A_{26}$  は非球面補正係数である。それぞれの各係数の値は、表 6 に与えられる。

【 0 0 9 7 】

【表 6】

次数	非球面5	非球面14	非球面15
K	0.439	248.749	-7.2690E+00
A4	1.3862E-06	7.4830E-07	-1.6430E-08
A6	3.0821E-10	-3.2900E-09	5.1019E-13
A8	-1.0760E-11	1.5662E-11	-8.4150E-18
A10	6.9165E-14	-6.2460E-14	3.6849E-23
A12	1.0057E-16	1.3482E-16	-1.7400E-28
A14	-1.2250E-18	-1.1350E-19	5.3673E-33
A16	-9.6450E-22	-2.1580E-22	-3.2500E-38
A18	9.6730E-24	6.7512E-25	1.3007E-42
A20	2.4747E-26	-1.2460E-28	1.1514E-45
A22	-1.0400E-28	-3.7560E-31	-3.6110E-51
A24	-9.1410E-33	-4.0710E-33	-1.6490E-55
A26	1.7644E-34	6.5807E-36	-2.0690E-59

【 0 0 9 8 】

表 5 の番号 1 5 に相当する面は、第 2 の光学系 3 1 を構成する反射面に関するデータである。この面も、式 1 で表される非球面である。d 1 4 は、第 1 の光学系の r 1 4 から第 2 の光学系 3 1 迄の光軸に沿う距離、d 1 5 は第 2 の光学系からスクリーン 4 迄の光軸に沿う距離を表している。番号 1 6 はスクリーンである。

【 0 0 9 9 】

第 2 の実施形態に対応する数値例を、表 7 及び表 8 に示す。

## 【0100】

【表7】

番号	曲率半径R	間隔d	屈折率n	分散vd
0	0.00	0.00	1.00000	
1	0.00	32.44	1.51680	64.20
2	0.00	104.17	1.00000	
*3	114.85	20.00	1.58913	61.30
*4	-112.32	237.00	1.00000	
*5	-97.19	10.00	1.51680	64.20
*6	-543.21	300.00	1.00000	
*7	-170.55	15.00	1.51680	64.20
*8	127.52	700.00	1.00000	
9	0.00	0.00	1.00000	

## 【0101】

【表8】

次数	非球面3	非球面4	非球面5	非球面6	非球面7	非球面8
K	-0.967	-3.427	-0.961	38.098	-4.661	-137.657
A4	-4.7621E-08	-2.1521E-08	-3.9210E-07	-4.6976E-09	-1.9806E-07	-3.2553E-08
A6	-1.1887E-13	-4.3560E-12	6.2030E-12	-1.2979E-12	1.0092E-11	3.6760E-13
A8	-1.9196E-15	2.4159E-15	-2.0548E-15	-2.7614E-15	-5.3323E-16	-2.1936E-18
A10	-1.6656E-19	-8.8568E-19	-6.7797E-18	3.3560E-19	8.8135E-21	5.1099E-24
A12						
A14						
A16						
A18						
A20						
A22						
A24						
A26						

## 【0102】

番号3, 4が図4の第1の光学系30を構成する画像形成素子2側の凸レンズの面データ, 番号5, 6が同じく第1の光学系30のスクリーン側の凹レンズの面データに対応している。番号7, 8は第2の光学系31を構成する光学素子の面データである。番号0が画像形成素子2に, 番号9がスクリーン4に相当する。なお, 番号1, 2は色合成用プリズムに相当する。

## 【0103】

第3の実施形態に対応する数値例を, 表9及び表10に示す。番号1~11が, 図8のr1~r11に対応する。また, 番号0が画像形成素子2, 番号12が折り返し用平面ミラー, 番号13が第2の光学系を構成する非球面ミラー31にそれぞれ対応している。番号14がスクリーンに対応する。

## 【0104】

【表 9】

番号	曲率半径R	間隔d	屈折率n	分岐vd
0	0.00	64.00		
1	58.19	11.00	1.60300	65.50
2	-273.18	32.30		
*3	75.74	9.00	1.60300	65.50
4	-33.90	1.80	1.74000	31.70
5	228.46	67.00		
6	1929.73	6.00	1.80400	46.60
7	-78.35	18.60		
8	53.10	24.00	1.60311	60.70
9	34.61	15.80		
*10	-22.93	3.00	1.60311	60.70
11	-63.73	100.00		
12	0.00	0.00	MIRROR	
*13	-191.80	450.00	MIRROR	
14	0.00	0.00		

【0105】

【表 10】

次数	非球面3	非球面10	非球面13
K	-2.578	-0.228	-7.226
A4	-1.0273E-06	1.5697E-06	4.5923E-09
A6	-6.6235E-10	-2.2420E-09	-7.5917E-14
A8	-7.2979E-13	2.3462E-11	8.6846E-19
A10	-6.8308E-15	-4.6973E-14	-5.1711E-24
A12	4.2929E-17	3.5466E-18	-1.6600E-30
A14	-1.0068E-19	1.7720E-19	1.9636E-34
A16	7.3009E-23	-2.0286E-22	-7.4399E-40
A18			
A20			
A22			
A24			
A26			

【0106】

第4の実施形態に対応する数値例を、表11及び表12に示す。

番号1～13迄が、図12のr1～r13に対応している。r14が第2の光学系を構成する反射面31に対応する面データである。この光学系は、像の移動を考慮して、より広い範囲の像高に対し収差補正を行っている。番号0が画像形成素子、番号15がスクリーンにそれぞれ対応する。

【0107】

【表 11】

番号	曲率半径R	間隔d	屈折率n	分岐vd
0	0.00	61.24	1.00000	
1	51.50	14.00	1.62000	62.20
2	8402.87	29.53	1.00000	
*3	76.31	11.00	1.62000	62.20
4	-30.99	2.00	1.74000	31.70
5	237.26	61.38	1.00000	
6	368.66	16.40	1.69350	53.30
7	-68.17	5.23	1.00000	
8	59.70	22.00	1.61310	44.40
9	2509.25	1.70	1.00000	
10	-254.23	3.00	1.53256	46.90
11	38.57	16.99	1.00000	
*12	-26.00	3.00	1.62000	62.20
13	-139.86	300.00	1.00000	
*14	205.53	-700.00	MIRROR	
15	0.00	0.00	1.00000	

【0108】

【表 1 2】

次数	非球面3	非球面12	非球面14
K	-6.351	-0.088	-7.181
A4	-4.5222E-07	9.8683E-07	-5.1802E-09
A6	-1.3212E-09	-1.4119E-09	9.4568E-14
A8	-8.3071E-13	1.9531E-11	-1.1176E-18
A10	-4.8053E-15	-3.9940E-14	6.5972E-24
A12	3.2936E-17	2.8893E-17	3.3104E-31
A14	-8.1805E-20	3.8128E-20	-2.0325E-34
A16	7.4349E-23	-3.7771E-23	7.1276E-40
A18			
A20			
A22			
A24			
A26			

【0109】

第5の実施形態に対応する数値例を、表13及び表14に示す。

これは、結像系が全て反射鏡より構成される背面投写装置の数値例である。表13の番号3及び4が、図16の反射鏡30a及び30bにそれぞれ対応する面データである。また、表13の番号5が、第2の光学系31を構成する反射鏡31の面データに対応する。面データ0が画像形成素子2，面データ6が平面反射鏡301，面番号1，2は色合成用プリズムである。

【0110】

【表 1 3】

番号	曲率半径R	間隔d	屈折率n	分散nd
0	0.00		1.00000	
1	0.00	32.44	1.51680	64.20
2	0.00	142.35	1.00000	
*3	-224.00	-250.00	MIRROR	
*4	-306.02	230.00	MIRROR	
*5	207.25	-240.00	MIRROR	
6	0.00	280.00	MIRROR	
7	0.00	0.00	1.00000	

【0111】

【表 1 4】

次数	非球面3	非球面4	非球面5
K	-0.069	16.832	-10.626
A4	1.2148E-10	-1.0440E-07	-4.6180E-09
A6	-1.2979E-12	1.6437E-11	5.7203E-14
A8	-6.9055E-17	5.9316E-15	-4.1342E-19
A10	8.8408E-20	-1.2979E-18	1.2505E-24
A12			
A14			
A16			
A18			
A20			
A22			
A24			
A26			

【0112】

最後の数値例は、第6の実施形態に対応するものである。実際の数値例を表15及び表16に示す。番号1～14が、図19の第1の光学系断面図r1～r14



4に対応する。番号15が90°折れ曲げ平面ミラー、番号16が第2の光学系を構成する非球面反射鏡31、番号17が折れ曲げ用平面反射鏡301にそれぞれ対応している。番号0が画像形成装置2、番号18がスクリーン4である。

【0113】

【表15】

番号	曲率半径R	間隔d	屈折率n	分散vd
0	0.00	45.62	1.00000	
1	118.08	8.80	1.56883	56.00
2	-71.33	0.10	1.00000	
3	54.78	18.00	1.56883	56.00
4	-98.48	1.50	1.71736	29.50
*5	57.02	28.05	1.00000	
6	216.13	1.50	1.68893	31.20
7	45.58	12.00	1.56883	56.00
8	-112.64	55.48	1.00000	
9	254.11	12.00	1.56883	56.00
10	-68.77	0.10	1.00000	
11	55.71	34.13	1.69700	48.50
12	31.90	14.44	1.00000	
13	-27.54	3.00	1.64048	59.75
*14	-233.03	90.00	1.00000	
15	0.00	-200.00	MIRROR	
*16	-162.77	350.00	MIRROR	
17	0.00	-400.00	MIRROR	
18	0.00	0.00	1.00000	

【0114】

【表16】

次数	非球面5	非球面14	非球面16
K	0.419	8.885	-6.765
A4	1.7575E-06	4.0435E-07	5.1924E-09
A6	3.5104E-09	-1.1450E-09	-8.1620E-14
A8	-3.5400E-11	1.0864E-11	8.1952E-19
A10	1.5737E-13	-5.9200E-14	-4.0570E-24
A12	-1.4420E-17	1.5071E-16	8.0087E-30
A14	-1.3420E-18	-1.1300E-19	-1.8850E-34
A16	-5.2260E-22	-2.5080E-22	2.0596E-39
A18	1.2546E-23	5.6636E-25	1.7806E-46
A20	1.3186E-27	-2.9910E-28	1.2608E-50
A22	-2.1590E-29	-5.5790E-32	-7.9730E-55
A24	-1.9490E-31	-2.8470E-35	-5.7130E-60
A26	3.7569E-34	7.8403E-38	6.6673E-65

【0115】

## 【発明の効果】

本発明により、斜入射光学系の応用の中で、特に実像を形成する分野、例えば、投写装置、画像読み取り装置、カメラ等に応用可能な斜入射結像光学系が提供可能となる。特に、従来では困難であった、半画角60°を越える斜入射光学系が実現可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

斜入射光学系の第1の実施形態を表す投写装置の断面図である。

## 【図2】

第 1 の実施形態における第 1 の光学系射出後の収束状況を表す図である。

【図 3】

第 1 の実施形態における第 1 の光学系断面図である。

【図 4】

斜入射光学系の第 2 の実施形態を表す投写装置の断面図である。

【図 5】

第 2 の実施形態における第 1 の光学系射出後の収束状況を表す図である。

【図 6】

斜入射光学系の第 3 の実施形態を表す投写装置の断面図である。

【図 7】

第 3 の実施形態における第 1 の光学系射出後の収束状況を表す図である。

【図 8】

第 3 の実施形態における第 1 の光学系断面図である。

【図 9】

斜入射光学系の第 4 の実施形態を表す投写装置の断面図である。

【図 1 0】

斜入射光学系の第 4 の実施形態を表す投写装置の正面図である。

【図 1 1】

第 4 の実施形態における第 1 の光学系射出後の収束状況を表す図である。

【図 1 2】

第 4 の実施形態における第 1 の光学系断面図である。

【図 1 3】

斜入射光学系の第 5 の実施形態を表す投写装置の断面図である。

【図 1 4】

斜入射光学系の第 5 の実施形態を表す投写装置の正面図である。

【図 1 5】

第 5 の実施形態における第 1 の光学系射出後の収束状況を表す図である。

【図 1 6】

第 5 の実施形態における第 1 の光学系断面図である。

【図 17】

斜入射光学系の第 6 の実施形態を表す投写装置の断面図である。

【図 18】

斜入射光学系の第 6 の実施形態を表す投写装置の正面図である。

【図 19】

第 6 の実施形態における第 1 の光学系断面図である。

---

【図 20】

ディセンタ方式の原理図を示す模式図である。

【図 21】

ティルト方式の原理図を示す模式図である。

【図 22】

ティルト方式の歪曲の概念図である。

【図 23】

特開平 05-273460 号の投写レンズの断面図である。

【図 24】

米国特許第 5871266 号の投写装置の断面図である。

【図 25】

特開平 10-206791 号の投写レンズの断面図である。

【図 26】

特開平 10-206791 号の投写の様子を示す断面図である。

【図 27】

米国特許第 5274406 号の背面投写装置の断面図である。

【図 28】

米国特許第 5274406 号に使用する投写レンズの断面図である。

【図 29】

---

米国特許第 5274406 号に使用するフレネルミラーの鳥瞰図である。

【図 30】

特開平 6-265814 の投写光学系の断面図である。

【図 31】

多段ティルト方式を説明するための模式図である。

【図 3 2】

多段ティルト方式で使用される瞳結合素子の断面図である。

【図 3 3】

特開平 0 7 - 1 3 1 5 7 の投写装置の断面図である。

【図 3 4】

特開平 0 9 - 1 7 9 0 6 4 号の投写装置の断面図である。

【図 3 5】

特開平 0 9 - 1 7 9 0 6 4 号の投写レンズの断面図である。

【図 3 6】

アフォーカルティルト方式の原理を説明するための模式図である。

【図 3 7】

ヘッドマウントディスプレイ装置の典型的な構成断面図である。

【図 3 8】

特開平 5 - 3 0 3 0 5 5 の HMD 装置の断面図である。

【図 3 9】

特開平 7 - 1 9 1 2 7 4 の第 1 の HMD 装置の断面図である。

【図 4 0】

特開平 7 - 1 9 1 2 7 4 の第 2 の HMD 装置の断面図である。

【図 4 1】

特開平 1 0 - 2 3 9 6 3 1 の HMD 装置の断面図である。

【図 4 2】

特開平 6 - 1 3 3 3 1 1 のテレビ電話装置の概念図である。

【符号の説明】

A 交点（交線）

1 照明部

1 a, 1 b, 1 c, 1 d 照明部を構成する光学要素

2, 2' 縮小側の共役面（画像形成素子または画像読み取り素子

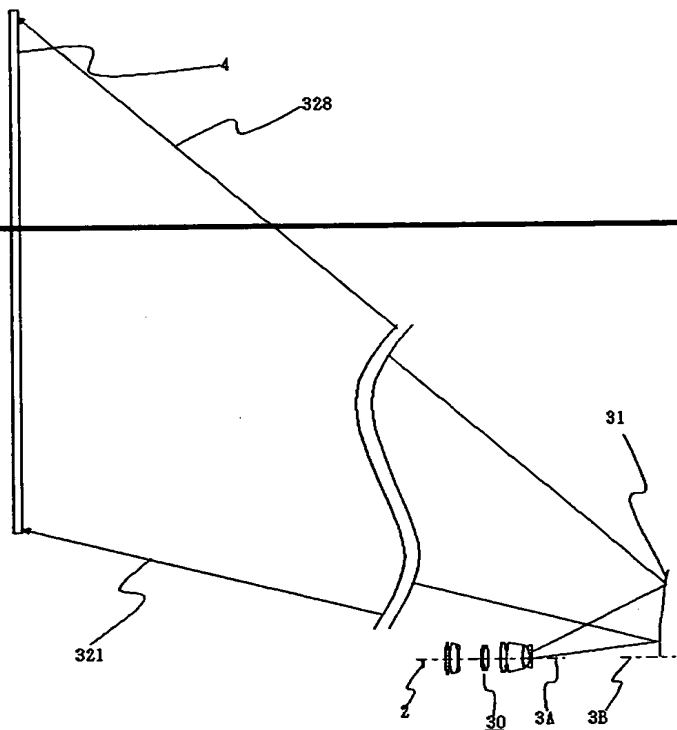
）

2 a, 2 b	画像形成または画像読み取りに付随する光学素子
2 i, 2 h, 2 g	画像形成素子または画像読み取り素子
2 0 1	縮小側の共役面の領域
3, 3'	結像光学系
3 0	第 1 の光学系
3 0 a, 3 0 b	第 1 の光学系を構成する光学素子
3 1	第 2 の光学系
3 1 a, 3 1 b, 3 1 c	第 2 の光学系を構成する光学素子
3 A	第 1 の光学系の基準軸
3 B	第 2 の光学系の基準軸
3 a, 3 b, 3 c, 3 d, 3 e, 3 g	光学系を構成する光学素子
3 0 1, 3 0 2, 3 0 3, 3 0 4, 3 0 5	光学系を構成する光学素子
3 1 1 ~ 3 1 9	第 1 の光学系通過後の光束
3 1 1' ~ 3 1 9'	第 1 の光学系通過後の光束
3 2 1 ~ 3 2 9	第 2 の光学系通過後の光束
3 1 S, 3 1 T	光束断面における収束点を結ぶ曲線
r 1 ~ r 1 4	光学系を構成する光学要素の曲率半径
d 0 ~ d 1 4	光学系を構成する光学要素の間隔
3 H	光学系の主平面
4, 4'	拡大側の共役面（スクリーン、物体、原稿等）
4 0 1	拡大側の共役面の領域
6	カメラ

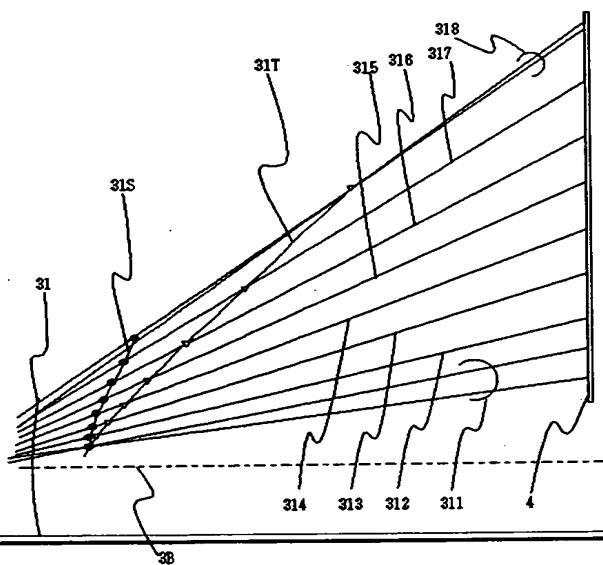
【書類名】

図面

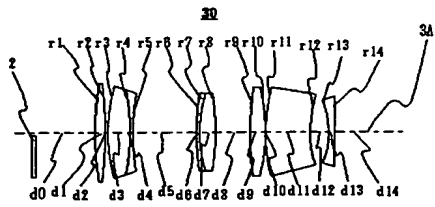
【図 1】



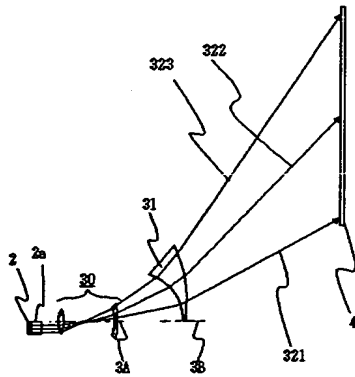
【図 2】



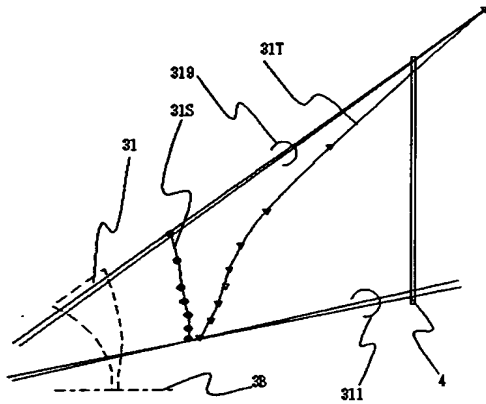
【図 3】



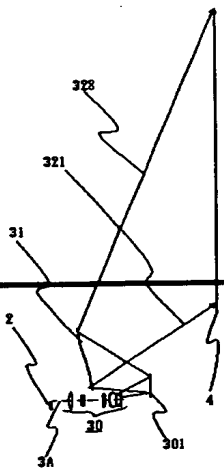
【図 4】



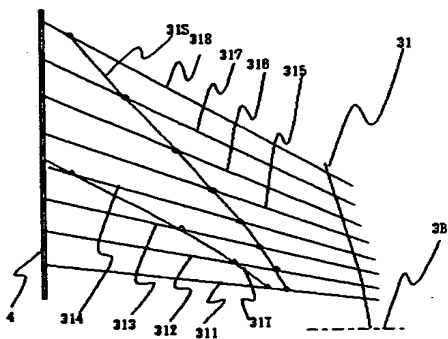
【図 5】



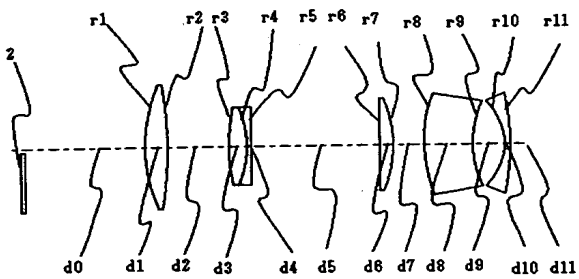
【図 6】



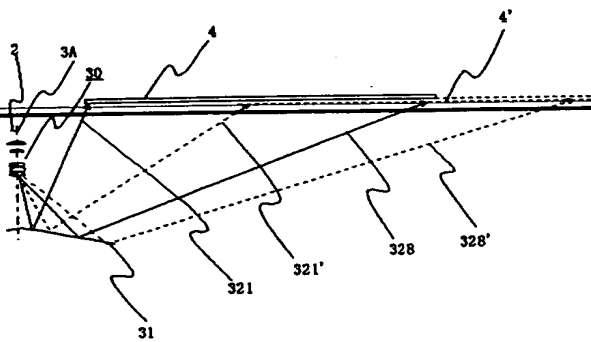
【図 7】



【図 8】

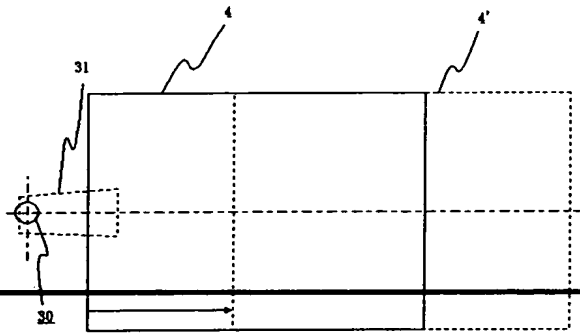


【図 9】

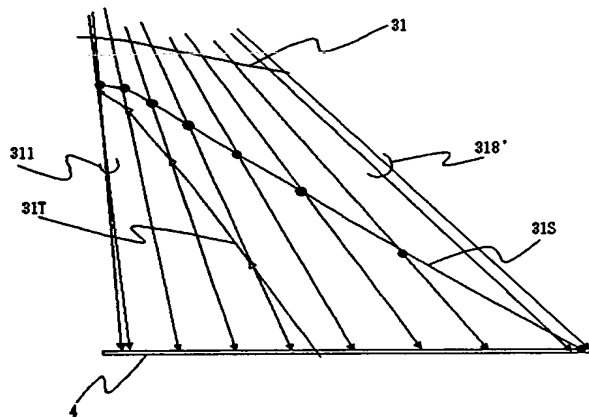




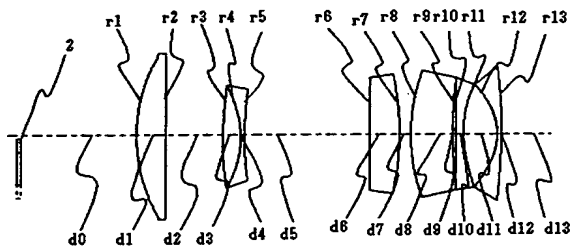
【図 10】



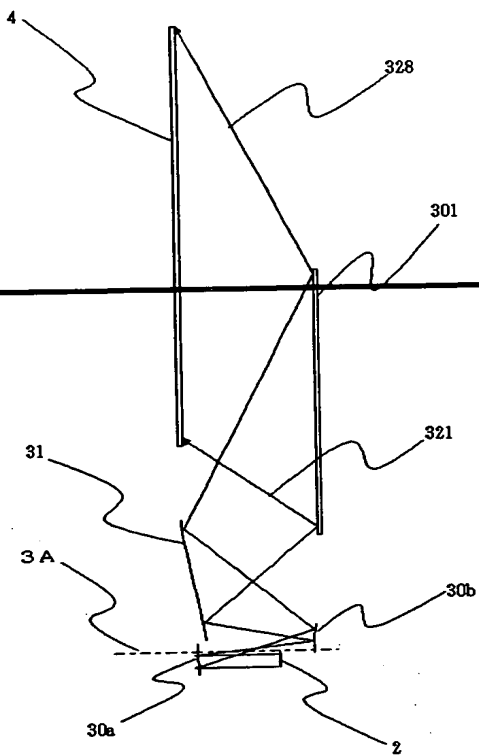
【図 11】



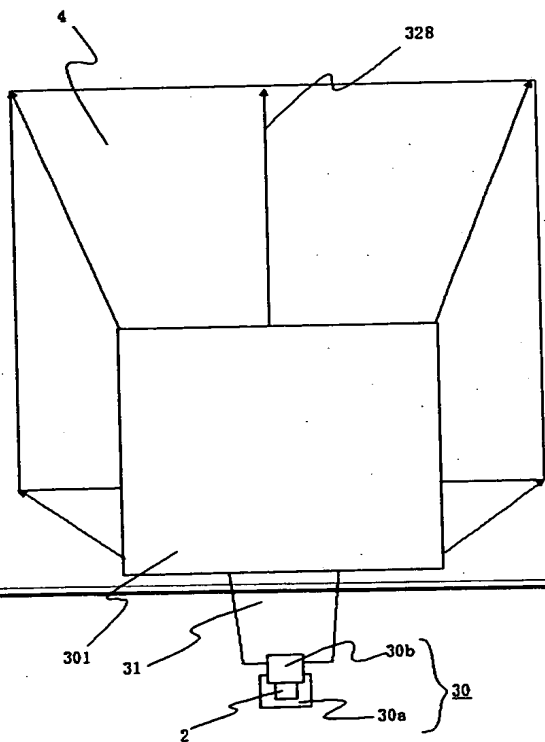
【図 12】



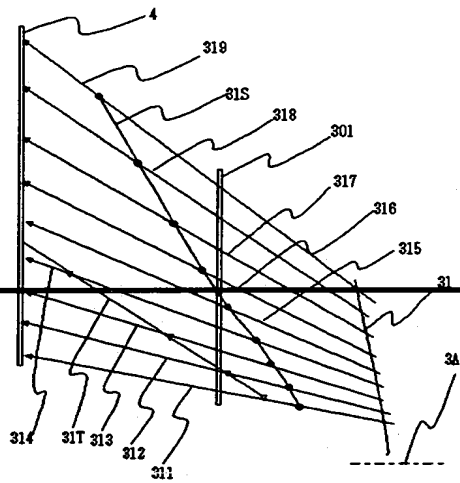
【図 13】



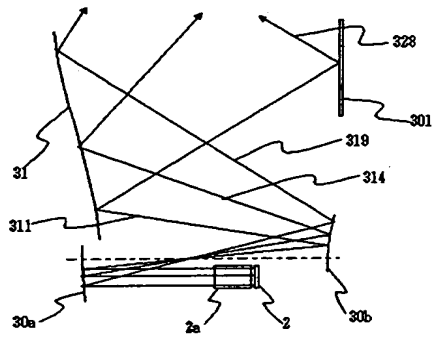
【図 14】



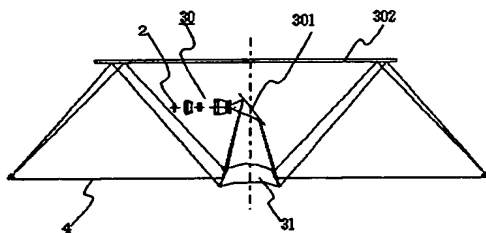
【図 15】



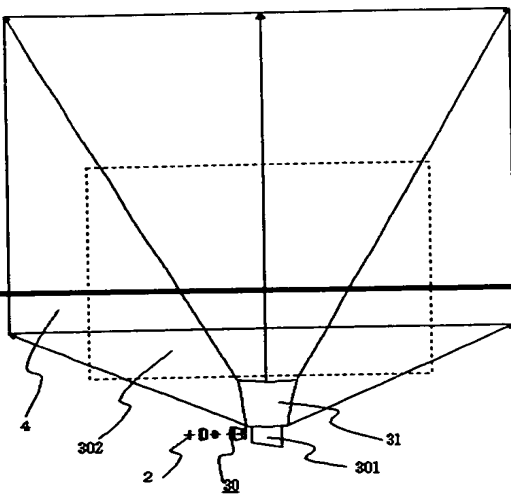
【図 16】



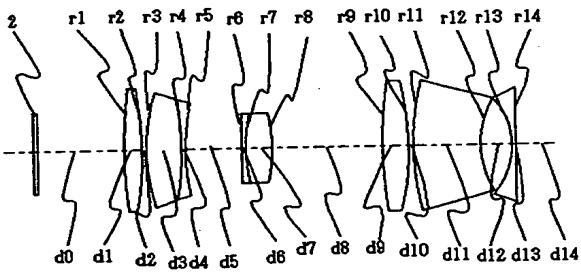
【図 17】



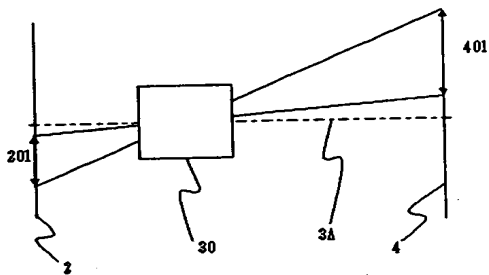
【図 1 8】



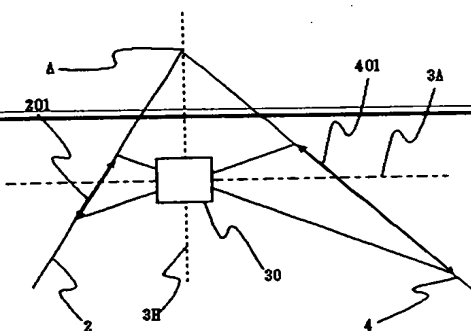
【図 1 9】



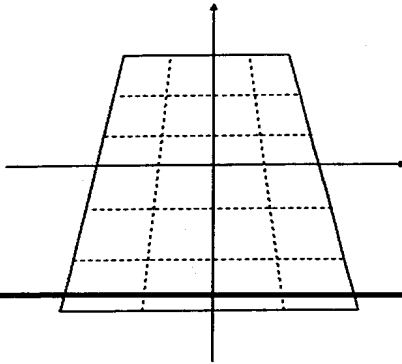
【図 2 0】



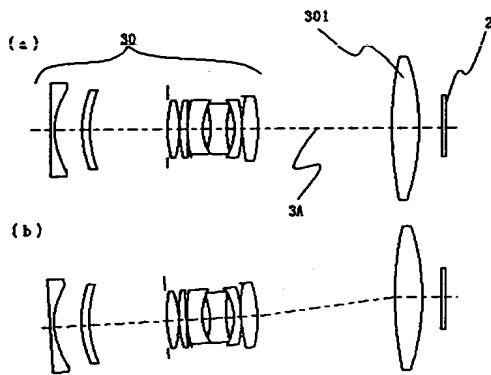
【図 2 1】



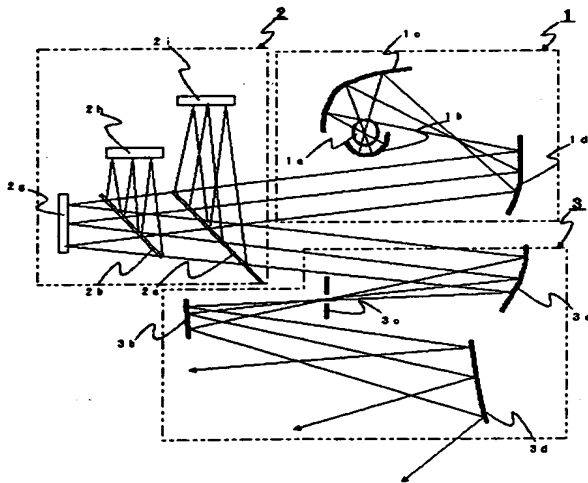
【図 2 2】



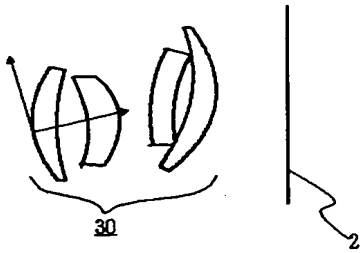
【図 2 3】



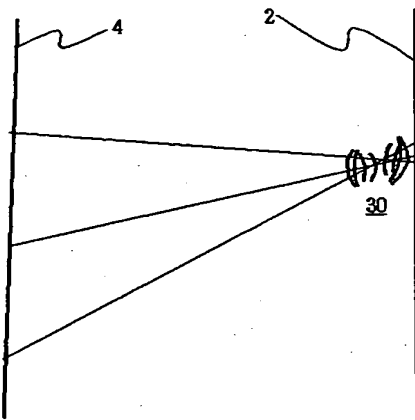
【図 2 4】



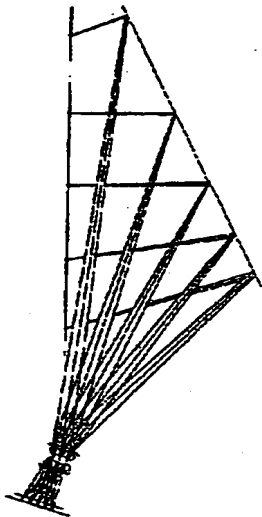
【図 25】



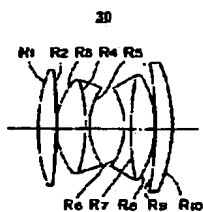
【図 26】



【図 27】

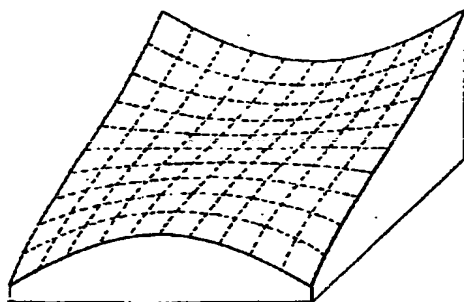


【図 28】

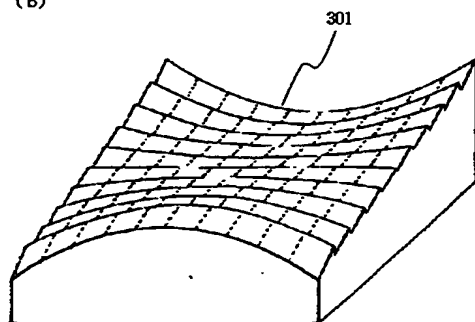


【図 29】

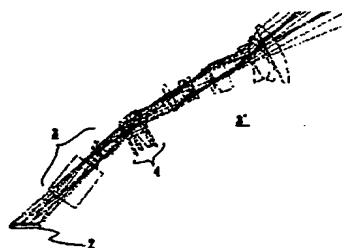
(a)



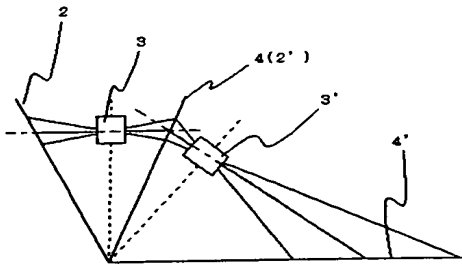
(b)



【図 30】



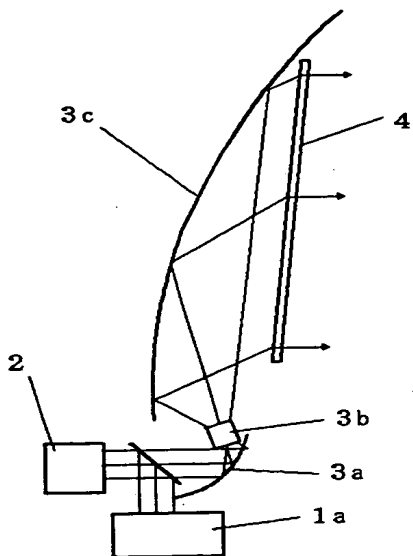
【図 3 1】



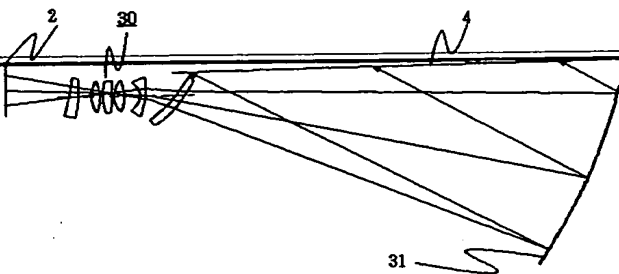
【図 3 2】



【図 3 3】

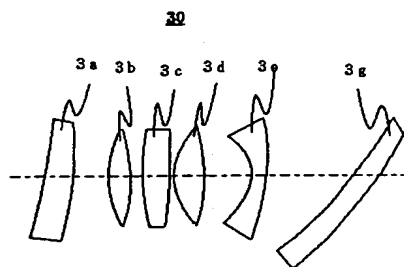


【図 3 4】

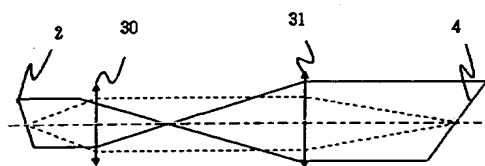




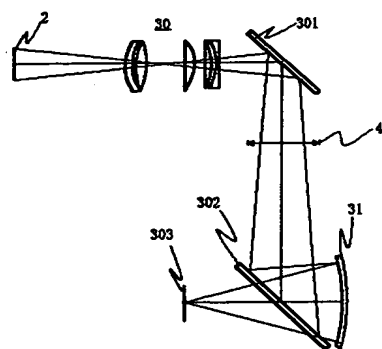
【図 3 5】



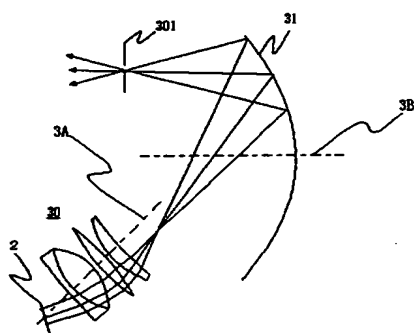
【図 3 6】



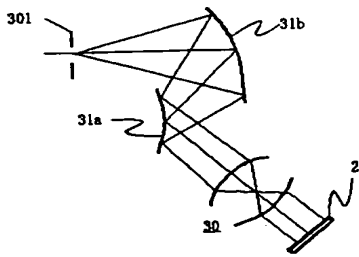
【図 3 7】



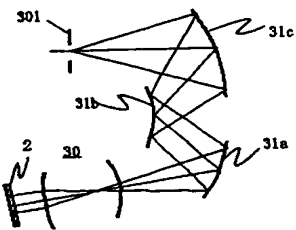
【図 3 8】



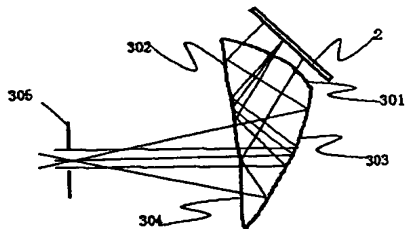
【図 3 9】



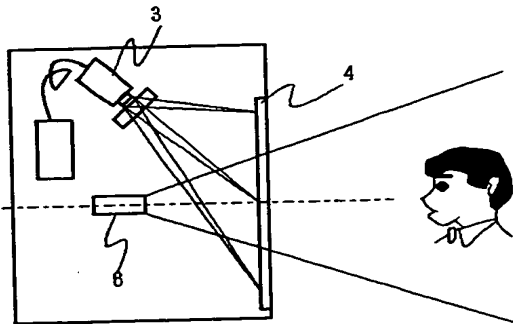
【図 4 0】



【図 4 1】



【図 4 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 種々の用途に応用可能な、斜入射光学系の新たな実現手段を提供すること。

【解決手段】 基本構成として、一方の共役面 A から  $10^\circ$  以上の開き角を持って発する光束が、その基準軸近傍において光束の収束作用を有する第 1 の光学系と、その基準軸近傍において光束の発散作用を有する第 2 の光学系とを順次通過し、もう一方の共役面 B 上に収束する。更に、第 1 の光学系を通過する任意の光束に関し、その主光線を含むいずれかの断面内における収束角が、第 1 の光学系の基準軸から遠ざかるに従って相対的に減少すると共に、第 1 の光学系と第 2 の光学系間の任意の光束に沿う距離  $d_1$ 、第 2 の光学系と共役面 B 間の同じ光束に沿う距離  $d_2$  に関し、 $d_2 > d_1$  が成り立つ。

【選択図】 図 1

特平 11-200381

## 認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第200381号
受付番号	59900678234
書類名	特許願
担当官	池田 澄夫 6987
作成日	平成11年 7月26日

---

### <認定情報・付加情報>

【提出日】 平成11年 7月14日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [399014587]

---

1. 変更年月日 1999年 3月 1日

[変更理由] 新規登録

住 所 長野県諏訪市大字上諏訪6666-235

氏 名 松尾 栄樹

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**